

Uppsats/Examensarbete: 15 hp
Kurs: LGBI2G
Nivå: Grundnivå
Termin/år: HT 2025
Handledare: Kai Sattler
Examinator: Ola Nordqvist

Nyckelord: Visuella representationer, digitala interaktiva 3D-modeller, animationer, statiska bilder, multimodala verktyg, multimodalt lärande, kognitiv belastning, konceptuell förståelse, mekanistiskt tänkande, visuell läskunnighet, representationskompetens, rumslig förståelse, intresse, motivation

Abstract

Biology education at the upper secondary level often involves abstract and complex concepts that can be challenging for students to comprehend. Visual representations, including static images, animations, and digital interactive 3D models, are increasingly used to facilitate students' understanding of biological processes. However, questions remain regarding how different forms of visualization influence learning outcomes, motivation, and interest. This thesis presents a systematic review of research on the use and effects of static images, animations, and digital interactive 3D models in biology education. Particular attention is given to how these representations are implemented in classroom contexts, and how they contribute to students' conceptual understanding, motivation, and engagement with biology. The results indicate that while all forms of visual representations can support learning, their effectiveness depends on factors such as design, pedagogical integration, and students' representational competence. Carefully designed and contextually integrated visualizations have the potential to enhance conceptual understanding and increase students' motivation and interest in biology.

Sammanfattning

Biologiundervisning på gymnasienivå innefattar ofta abstrakta och komplexa begrepp som kan vara utmanande för elever att förstå. Visuella representationer, såsom statiska bilder, animationer och digitala interaktiva 3D-modeller, används i allt större utsträckning för att underlätta elevers förståelse av biologiska processer. Det råder dock fortfarande frågor kring hur olika former av visualisering påverkar läranderesultat, motivation och intresse. Denna studie presenterar en systematisk forskningsöversikt om användningen och effekterna av statiska bilder, animationer och digitala interaktiva 3D-modeller i biologiundervisning. Särskilt fokus ligger på hur dessa representationer används i klassrumspraktiken och hur de bidrar till elevers konceptuella förståelse, motivation och engagemang i biologi. Resultatet visar att alla former av visuella representationer kan stödja lärande, men deras effektivitet beror på faktorer som design, pedagogisk integrering och elevernas representationskompetens. Genomtänkt utformade och kontextuellt integrerade visualiseringar har potential att stärka den konceptuella förståelsen samt öka elevers motivation och intresse för biologi.

Förord

Vi valde att undersöka visuella representationers roll i biologiundervisningen eftersom detta var något vi ofta reflekterade över under vår lärarpraktik, särskilt när vi själva planerade och genomförde lektioner. Utbudet av resurser för lärare känns nästintill oändligt, men det väcker samtidigt frågor om deras didaktiska utformning och användbarhet. Därför väcktes vår nyfikenhet kring huruvida olika typer av visuella representationer kan ha skilda effekter, särskilt eftersom det är enkelt att välja bilder eller animationer utan att alltid uppmärksamma vad helheten faktiskt förmedlar, eller vilken konkret påverkan det har på elevernas förståelse, motivation och intresse. Vi upplevde också att detta är en relativt underskattad men mycket spännande dimension av undervisningen. Särskilt intressant fann vi jämförelsen mellan bilder, animationer och digitala 3D-modeller, eftersom de tillsammans bildar en skala från mer traditionella till mer innovativa visuella verktyg. Genom att fördjupa oss i dessa skillnader vill vi öka vår didaktiska medvetenhet och därigenom kunna stödja elevernas lärande på bästa sätt.

Samarbetet i detta arbete har varit mycket givande. Vi märkte snabbt att våra styrkor och svagheter kompletterar varandra väl, och de engagerande diskussionerna kring forskningen fortsatte ofta även efter arbetstid eftersom det väckte så mycket av våra intressen.

Vi vill verkligen tacka vår handledare, Kai Sattler, för allt stöd och den värdefulla feedbacken under hela examensarbetets gång. Det har varit både lärorikt och mycket givande att ha Kai som handledare. Tack vare detta blev arbetet både roligt och utvecklande för oss som blivande lärare.

/ Sam & Besart

Innehållsförteckning

1 Inledning och bakgrund.....	6
1.1 Forskningsläget	6
1.2 Relevans för yrket	7
1.3 Syfte och frågeställningar	7
1.4 Centrala begrepp och teorier	8
1.4.1 Statiska bilder, animationer och digitala interaktiva 3D-modeller	8
1.4.2 Multimodalt lärande	8
1.4.3 Kognitiv belastning	9
1.4.3 Konceptuell förståelse och mekanistiskt tänkande	9
1.4.4 Representationskompetens och rumslig förståelse	9
1.4.5 Motivation och intresse	10
2 Metod.....	10
2.1 Söktermer	11
2.2 Litteratursökning	11
2.3 Inklusionskriterier	12
2.4 Exklusionskriterier	12
2.5 Fulltext läsning.....	14
3 Resultat.....	14
3.1 Översikt över artiklarna.....	14
3.2 Bilder i biologiundervisningen.....	15
3.2.1 Hur bilder användes i biologiundervisningen.....	16
3.2.2 Hur bilder påverkade elevers lärande	16
3.3 Animationer i biologiundervisningen	18
3.3.1 Hur animationer användes i biologiundervisningen.....	18
3.3.2 Hur animationer påverkade elevers lärande	19
3.4 Digitala interaktiva 3D-modeller i biologiundervisningen	21
3.4.1 Hur digitala interaktiva 3D-modeller användes i biologiundervisningen.....	22
3.4.2 Hur digitala interaktiva 3D-modeller påverkade elevers lärande.....	23
4 Diskussion	24
4.1 Centrala mönster och forskning.....	24
4.2 Didaktiska implikationer för biologiundervisningen.....	25
4.3 Förslag på framtida forskning	28
4.4 Metoddiskussion.....	29

5 Slutsats.....	31
Referenslista.....	32
Bilagor	38

1 Inledning och bakgrund

Biologiämnet i gymnasieskolan syftar till att utveckla elevernas förståelse för livets processer, sambanden i naturen och människans plats i dessa system. Ämnesplanen för biologi på gymnasiet (Biologi, 2024) lyfter fram att undervisningen inte bara ska ge eleverna kunskap om biologins begrepp, modeller och teorier, utan även utveckla deras förmåga att analysera, tolka och kommunicera vetenskapliga samband genom varierade uttrycksformer. Biologin är till sin karaktär både undersökande och analytisk, vilket ställer krav på att undervisningen utformas på ett sätt som väcker nyfikenhet och samtidigt stödjer elevernas begreppsliga förståelse.

1.1 Forskningsläget

Ett återkommande didaktiskt problem inom biologiundervisning är att många av ämnets centrala begrepp, såsom cellandning, fotosyntes, genetiska processer och ekosystemdynamik, är abstrakta och svåra att konkretisera (Duncan & Boerwinkel, 2018). Forskning har visat att elever ofta har svårt att skapa mentala modeller av dessa fenomen när de endast presenteras i text eller tal, vilket kan leda till ytlinäring och missuppfattningar (Cook, 2006).

För att motverka detta framhålls användningen av visuella representationer, som skulle exempelvis kunna vara statiska bilder, animationer och digitala interaktiva 3D-modeller, som ett sätt att stödja elevernas förståelse genom att synliggöra det som annars är osynligt (Mayer & Moreno, 2002; Gilbert, 2005). Både interaktiva och icke-interaktiva 3D-modeller i digitalt format, samt digitala visualiseringar kan erbjuda dynamiska sätt att representera biologiska processer och därmed stärka elevers förmåga att se samband mellan struktur och funktion (Dori & Belcher, 2005). Ur ett neurovetenskapligt perspektiv visar Roland och Gulyás (1994) att visualisering aktiverar samma delar av hjärnan som används vid faktisk perception. När elever tolkar och bearbetar bilder eller modeller sker alltså en aktiv mental rekonstruktion av det biologiska fenomenet (Mayer & Moreno, 2002). Detta stärker minnet och främjar en djupare begreppslig förståelse, eftersom flera kognitiva processer engageras samtidigt.

Forskning inom multimodalt lärande visar dock att även om elever kan dra nytta av att information presenteras genom flera uttrycksformer, kan alltför många visuella stimuli bli kontraproduktiva. Ainsworth (2006) betonar att effekten av flera representationer beror på hur de relateras till varandra samt hur elevernas tolkning av dem vägletts i undervisningen. På liknande sätt framhåller Mayer och Moreno (2002) att animationer kan underlätta förståelsen av vetenskapliga förklaringar, men endast om de utformas i enlighet med den kognitiva teorin om multimodalt lärande. Enligt Moreno och Mayer (2007) innebär multimodalt lärande att inläring sker genom flera presentationsformer, såsom text, tal och bild, där varje modalitet bearbetas genom olika kognitiva kanaler. När för mycket information presenteras samtidigt, eller när text och animation inte samordnas, riskerar eleverna att drabbas av kognitiv överbelastning. Detta innebär att den mentala ansträngning som krävs för att bearbeta information överstiger arbetsminnets begränsade kapacitet, snarare än att uppnå djupinläring (Van Merriënboer & Sweller, 2005).

Enligt kognitiv belastningsteori (Cognitive Load Theory) (Mayer & Moreno, 2002) påverkas inläring av hur mycket information arbetsminnet kan hantera samtidigt. Teorin skiljer mellan tre typer av kognitiv belastning: den inneboende svårigheten i uppgiften, den yttre belastning som orsakas av hur informationen presenteras, och den meningsfulla ansträngning som bidrar till förståelse. Vid multimodalt lärande är det därför viktigt att visuella och verbala element

samordnas på ett sätt som stödjer förståelse snarare än överbelastar elevernas kognitiva kapacitet.

1.2 Relevans för yrket

Ur ett lärarprofessionellt perspektiv är detta högst relevant. Biologilärare ska inte enbart förmedla fakta, utan också skapa en undervisningsmiljö där eleverna kan använda olika uttrycksformer för att resonera, analysera och dra slutsatser. Enligt ämnesplanen Biologi (2024) ska undervisningen i biologi ge eleverna möjlighet att kommunicera sina kunskaper på flera sätt och med hjälp av biologins egna begrepp och uttrycksformer. Här blir lärarens val av visuella representationer centralt för att göra ämnets innehåll tillgängligt för alla elever, oavsett deras individuella förutsättningar. Genom att undersöka hur visuella representationer används och påverkar elevers förståelse kan studien bidra med didaktiska insikter om hur lärare kan använda moderna undervisningsresurser på ett medvetet, effektivt och likvärdigt sätt i linje med skolans uppdrag.

Enligt ämnesplanen i Biologi (2024) ska undervisningen dessutom ge eleverna möjlighet att kommunicera sina kunskaper på olika sätt med hjälp av biologins begrepp och uttrycksformer, samt genom att granska och tolka vetenskaplig information. Detta betonar inte bara innehållet i biologin, utan även formen för hur kunskap uttrycks och förmedlas, vilket gör visuella representationer till en naturlig del av ämnets didaktiska ram. Skollagen (SFS 2010:800) säger även att utbildningen ska främja elevers utveckling, lärande och lust att lära, vilket förutsätter att undervisningen anpassas efter individuella förutsättningar. Visuella och multimodala undervisningsformer kan därmed bidra till att uppfylla skolans uppdrag, då de enligt Rundgren & Tibell (2010) kan underlätta förståelsen för elever med olika förutsättningar.

Sammanfattningsvis visar forskning att visuella representationer kan vara kraftfulla verktyg för lärande i biologi, men att deras effektivitet är beroende av hur de används och integreras i undervisningen (Höffler & Leutner, 2007; Rau, 2017).

1.3 Syfte och frågeställningar

Syftet med denna forskningsöversikt är att undersöka hur statiska bilder, animationer och digitala interaktiva 3D-modeller används i gymnasiets biologiundervisning, samt på vilket sätt de påverkar elevers förståelse, motivation och intresse.

Studien avgränsas till gymnasieskolan och ämnet biologi, samt till referensgranskade artiklar publicerade från år 2005 och framåt. Detta tidsintervall valdes för att betona nyare forskning, då animationer och 3D-modeller är relativt nya verktyg inom undervisningen, samt för att undvika att analysen domineras av studier som enbart fokuserar på bilder. Genom att systematiskt analysera tidigare forskning avser studien att identifiera både möjligheter och begränsningar med dessa visuella representationer och därigenom bidra med didaktiska insikter som kan stödja lärare i deras undervisningspraktik.

För att uppfylla syftet besvaras följande forskningsfrågor:

1. Hur används statiska bilder, animationer och digitala interaktiva 3D-modeller i gymnasiets biologiundervisning?
2. Hur påverkar dessa visuella representationer elevers förståelse, motivation och intresse?

1.4 Centrala begrepp och teorier

Begrepp som multimodalt lärande och konceptuell förståelse är centrala för denna studie, då de utgör den teoretiska ramen för hur visuella representationer förstås i ett didaktiskt sammanhang. Dessa perspektiv belyser hur elever tolkar, integrerar och bearbetar information från flera uttrycksformer, exempelvis text, bild och ljud, och hur detta påverkar deras möjlighet att utveckla en djupare förståelse av naturvetenskapliga fenomen (Mayer, 2007; Chi, 2008).

1.4.1 Statiska bilder, animationer och digitala interaktiva 3D-modeller

Med visuella representationer avses i denna forskningsöversikt medietyper som statiska bilder, animationer och digitala interaktiva 3D-modeller. Anledningen till att forskningsöversikten fokuserar på dessa aspekter är att illustrera en slags gradient från mer traditionella till mer innovativa varianter. Fokus ligger således både på statiska bilder som återfinns i läroböcker eller på internet, och på digitala animationer och 3D-modeller. Fysiska modeller exkluderas, eftersom forskningsöversikten avgränsas till kostnadsfria och lättillgängliga digitala resurser för lärare.

Statiska bilder omfattar fotografier, tecknade illustrationer och schematiska diagram som ofta används i läroböcker eller digitalt material. En praktisk fördel med statiska bilder är att de möjliggör jämförelser mellan flera vyer och stadier i ett koncept, vilket underlättar jämförande analys (Cheung & Winterbottom, 2023). Tidigare forskning visar att sådana bilder kan stödja igenkänning och strukturförståelse, men att de också kan leda till missuppfattningar när de tolkas bokstavligt eller utan pedagogisk vägledning (Rundgren & Tibell, 2010; Cook, 2008).

Animationer visualiserar förändringar över tid och används för att förklara mekanistiska och kausala samband i naturvetenskapliga processer (Yarden & Yarden, 2010). Forskning visar att animationer kan öka förståelsen för dynamiska processer och underlätta skapandet av mentala modeller av biologiska fenomen och strukturer, särskilt när de kombineras med text eller muntliga förklaringar (Mayer & Moreno, 2002; Moreno & Mayer, 2007).

Med digitala interaktiva 3D-modeller avser vi digitala tredimensionella objekt som kan interageras med i realtid, exempelvis genom rotation, in/ut-zoomning, panorering och markering av strukturer, i ett desktop- eller webbaserat gränssnitt. Sådana modeller möjliggör aktiv utforskning av rumsliga relationer och detaljer som är svåra att se i statiska bilder (Rotbain m.fl., 2008).

1.4.2 Multimodalt lärande

Multimodalt lärande innebär att kunskap förmedlas genom flera olika uttrycksformer, såsom text, bild, ljud och animationer. Utgångspunkten är att olika modaliteter kan komplettera varandra och därigenom främja lärande (Baltrušaitis m.fl., 2017). Moreno och Mayer (2007) definierar multimodalt lärande som inläring som sker via flera presentationsformer, till exempel text, tal och bild, där varje modalitet bearbetas genom separata kognitiva kanaler i hjärnan, såsom den visuella och den auditiva kanalen. När information presenteras både visuellt och verbalt kan eleverna bygga mer stabila mentala modeller och därmed utveckla djupare förståelse (Ainsworth, 2006). Begreppet blir särskilt relevant eftersom vår forskningsöversikt omfattar olika modaliteter.

1.4.3 Kognitiv belastning

Kognitiv belastning avser, enligt van Merriënboer och Sweller (2005), den mentala ansträngning som krävs för att bearbeta information i arbetsminnet under lärande. Eftersom olika typer av visuella representationer, såsom statiska bilder, animationer och digitala interaktiva 3D-modeller, varierar i komplexitet, mängd information och presentationssätt, blir begreppet kognitiv belastning centralt för att förtydliga när och hur dessa visuella representationer bör användas.

1.4.3 Konceptuell förståelse och mekanistiskt tänkande

Konceptuell förståelse innebär att elever utvecklar en djupare insikt i de underliggande principer och mekanismer som förklarar naturvetenskapliga fenomen, snarare än att enbart memorera fakta (Tibell & Rundgren, 2010; Chi, 2008). Begreppet är nära kopplat till teorin om *conceptual change*, den process där elever omstrukturerar sina föreställningar så att de bättre överensstämmer med vetenskapliga modeller (Vosniadou, 2013). I denna forskningsöversikt används begreppet för att betona en mer sammanhängande och överförbar förståelse av biologiska samband och principer som kan tillämpas i nya sammanhang. I vårt användande av termen inkluderas även begreppsforståelse.

Tillsammans med konceptuell förståelse är mekanistiskt tänkande ett viktigt begrepp i denna forskningsöversikt. Mekanistiskt tänkande (Russ m.fl., 2008; Machamer m.fl., 2000) beskriver förmågan att förstå orsak-verkan-relationer i biologiska och fysikaliska processer. Det handlar om att se hur komponenter och mekanismer samverkar inom ett system, snarare än att endast beskriva vad som sker på ytan.

1.4.4 Representationskompetens och rumslig förståelse

Ytterligare två viktiga begrepp som förekommer i denna forskningsöversikt är representationskompetens och rumslig förståelse. Dessa bidrar till konceptuell förståelse, men är nära relaterade till just visuella representationer och de förmågor som krävs för att tolka dessa. Kozma (2005) beskriver representationskompetens som förmågan att tolka och samordna olika visuella representationer för att beskriva, förklara och förutse naturvetenskapliga fenomen, exempelvis kemiska processer på molekylär nivå. Denna kompetens omfattar även rumslig förståelse, det vill säga förmågan att mentalt visualisera och manipulera tredimensionella strukturer, något som är särskilt betydelsefullt inom biologi och kemi.

Ainsworth (2006) betonar att lärande med flera representationer, såsom bilder, animationer och digitala 3D-modeller, kräver att elever utvecklar strategier för att växla mellan och integrera olika visuella format. Detta samspel mellan representationer är avgörande för att bygga både rumslig och konceptuell förståelse.

Ytterligare ett närliggande begrepp är visuell läskunnighet (visual literacy), vilket avser förmågan att tolka, förstå och skapa mening ur visuella representationer (Avgerinou & Pettersson, 2011). I naturvetenskapliga ämnen innebär detta att kunna läsa och tolka bilder, diagram och modeller på ett sätt som går bortom ytliga igenkänningseffekter. Avgerinou och Pettersson (2011) framhåller att visuell läskunnighet är en kompetens som behöver läras och utvecklas över tid. De betonar att den kan bidra till förbättrat lärande och är särskilt viktig i situationer där spatials och visuella budskap står i centrum, såsom statiska bilder, animationer och 3D-modeller.

Begreppet är nära besläktat med representationskompetens (Kozma, 2005), men betonar en mer generell förmåga att förstå visuella språk och konventioner. En utvecklad visuell läskunnighet kan därför ses som en förutsättning för att elever ska kunna utveckla både representationskompetens och rumslig förståelse, och därigenom nå djupare konceptuell förståelse i biologiundervisningen.

1.4.5 Motivation och intresse

Även intresse är ett centralt begrepp i denna forskningsöversikt, eftersom det i ett undervisningssammanhang kan fungera som en drivkraft som främjar uppmärksamhet, engagemang och djupare förståelse. Hidi (1990) definierar intresse som en mental resurs som påverkar hur individer väljer, bearbetar och behåller information. Intresse kan enligt Hidi vara både individuellt, utvecklat över tid och kopplat till personliga värden, och situationsbundet, det vill säga tillfälligt väckt av specifika stimuli i undervisningsmiljön.

Motivation används här för att beskriva elevers engagemang och vilja att delta aktivt i lärandeaktiviteter. I denna forskningsöversikt framkommer att motivation ofta mäts genom observationer, självrapporter eller lärarbedömningar, där fokus ligger på elevernas engagemang, uthållighet och deltagande i undervisningen. Flera studier visar att visuella representationer kan väcka elevers intresse och främja aktivt utforskande, särskilt när de används på ett sätt som möjliggör interaktion och reflektion (Teplá m.fl., 2022; Rotbain m.fl., 2008). Motivation framstår därmed som en central faktor som samverkar med intresse och förståelse i lärandeprocessen.

En central teori för att förstå elevers motivation är Self-Determination Theory (SDT) (Deci & Ryan, 2000). Teorin utgår från att människors inre motivation främjas när tre grundläggande psykologiska behov tillgodoses: autonomi, kompetens och samhörighet. Autonomi innebär upplevelsen av att ha kontroll och kunna göra egna val, kompetens handlar om att känna sig effektiv och kapabel i sitt lärande, och samhörighet avser känslan av tillhörighet och socialt stöd. När dessa behov uppfylls stärks elevers inre motivation, nyfikenhet och uthållighet i lärandeprocessen, medan brist på stöd för dessa behov kan leda till yttre motivation eller minskat engagemang.

I relation till visuella representationer visar tidigare forskning att väl utformade bilder, animationer och digitala interaktiva 3D-modeller kan väcka situationsbundet intresse hos elever, vilket i sin tur kan öka motivationen att bearbeta information, engagera sig i lärandet och utveckla konceptuell förståelse (Mayer & Moreno, 2002; Rundgren & Tibell, 2010). På så sätt kan visuella resurser fungera både som en katalysator för uppmärksamhet och som en mekanism som förstärker effekten av multimodalt lärande.

2 Metod

För att besvara frågeställningarna i denna forskningsöversikt genomfördes systematiska litteratursökningar den 17 september 2025 i ProQuest (med databasen ERIC) samt i Education Research Complete via EBSCO:s plattform, allt via Göteborgs universitetsbiblioteks licens. Sökningarna utfördes som blocksök, utformade utifrån: (1) ämnesområdet biologi, (2) typen av visuella representationer, (3) deras användning i undervisning, och (4) gymnasienivå. Sökningen riktades mot titel, abstract och ämnesord. Resultaten begränsades till referentgranskade publikationer publicerade under perioden 2005–2025. Träfflistorna

exporterades och sparades med Zotero Browser Connector i ett delat Zotero-bibliotek, och både sökloggar och exporterade filer (RIS/CSV) bevarades för dokumentation och reproducerbarhet.

2.1 Söktermer

Söktermerna identifierades utifrån studiens frågeställningar och utformades efter följande; (1) ämnesområdet biologi, (2) typen av visuella representationer, (3) deras användning i undervisning, och (4) gymnasienivå (se tabell 1). Samt baserades söktermerna på relevanta och mest använda synonymer och närliggande begrepp.

2.2 Litteratursökning

I ProQuest markerades alternativet *Peer reviewed* vid varje sökning för att säkerställa att endast vetenskapligt granskade artiklar inkluderades i resultatet. Sökningarna utfördes blockvis och kombinerades därefter med ProQuests inbyggda AND-funktion, som sammanförde de tidigare definierade sökblocken. När texten från varje sökblock infogas i ProQuest lägger systemet automatiskt till *oft* och parenteser. Se tabell 2 för resultat.

I EBSCO användes filtren *vetenskapliga (peer-reviewed) tidskrifter, publiceringsår 2005–2025* samt *språk: engelska*. Varje sökblock genomfördes separat och kombinerades därefter med den inbyggda funktionen för avancerad sökning. (Se tabell 2).

Tabell 1: Tabellen visar antalet träffar för varje enskilt sökblock samt för den kombinerade sökningen i databasen ERIC.

Databas: ERIC Datum: 25-09-17	Söktermer	Antal träffar
Block 1	biology OR "life science*" OR biolog*	25 871
Block 2	"interactive 3D" OR "3D model*" OR "3-D model*" OR "3D visualization" OR simulation* OR animation* OR "static image*" OR diagram* OR illustration*	30 911
Block 3	implement* OR "classroom use" OR instruct* OR teach* OR pedagog* OR adoption OR integration OR "teacher practice" OR "learning activity" OR learn*	776 667
Block 4	"high school" OR "upper secondary" OR secondary school OR gymnas*	174 880
Block 1-4 kombinerat och avgränsningar: Språk: Eng År: 2005-2025		233

Tabell 2: Tabellen visar antalet träffar för varje enskilt sökblock samt för den kombinerade sökningen.

Databas: ERC Datum: 25-09-17	Söktermer	Antal träffar
Block 1	biology OR "life science*" OR biolog*	66 993
Block 2	"interactive 3D" OR "3D model*" OR "3-D model*" OR "3D visualization" OR simulation* OR animation* OR "static image*" OR diagram* OR illustration*	42 265
Block 3	implement* OR "classroom use" OR instruct* OR teach* OR pedagog* OR adoption OR integration OR "teacher practice" OR "learning activity" OR learn*	1 030 919
Block 4	"high school" OR "upper secondary" OR secondary school OR gymnas*	132 185
Block 1-4 kombinerat och avgränsningar: Språk: Eng År: 2005-2025		164

2.3 Inklusionskriterier

Artiklar inkluderades om de uppfyllde följande kriterier: (1) deltagare var gymnasieelever eller motsvarande (cirka 16–19 år); (2) interventionsstudier och systematiska översikter som utvärderade undervisningsmetoder inom naturvetenskap med fokus på biologi; (3) kvantitativa, kvalitativa eller studier med blandade metoder; (4) rapportering av minst ett fördefinierat utfall: förståelse; kunskaps- eller färdighetsutveckling; eller motivation/intresse; (5) publicering i referentgranskade tidskrifter under perioden 2005–2025; (6) publicerade på engelska eller svenska. Kriterierna fastställdes utifrån studiens frågeställning och sökstrategi för att systematisera titel- och abstract-screeningen. För inkludering krävdes att interventionen eller den systematiska översikten handlade om implementering av visuella eller digitala undervisningsresurser (t.ex. interaktiva 3D-modeller, digitala 3D-modeller, animationer eller stillbilder) och att utfallen avsåg elevers lärande eller upplevelser (konceptuell förståelse, läranderesultat, motivation/intresse).

2.4 Exklusionskriterier

Artiklarna från varje databas (ERC respektive ERIC) organiserades i ett delat Zotero-bibliotek och delades därefter upp så att hälften av artiklarna lästes av vardera författare. Vid titelscreening gavs varje artikel en tag med "Include", "Maybe" eller "Exclude", vilket möjliggjorde en systematisk översikt. För titlar där innehållet var ottydligt lästes abstraktet snabbt för att klargöra artikelns fokus. Artiklar markerade som "Exclude" avlägsnades därefter, medan artiklar markerade som "Include" eller "Maybe" gick vidare till abstractscreening. De exklusionskriterier som tillämpades redovisas i tabell 3. Efter abstractscreening organiserades de artiklar som markerats med "Include" i en gemensam Zotero mapp, och eventuella dubletter rensades bort.

Därefter delades artiklarna mellan författarna så att varje artikel lästes i fulltext av hälften av författarna. Efter att varje artikel lästes i fulltext gavs den en tag återigen för inkludering eller

exkludering. Motiveringen för eventuella exkluderingar dokumenterades genom anteckningar per artikel och kunde granskas av varje författare för att säkerhetsställa en gemensam tolkning av inklusions- och exklusionskriterier. Eftersom forskningsöversikten fokuserar på strikt visuella hjälpmedel exkluderades spel, VR (virtual reality), avancerade simuleringar samt mer matematiska eller enbart textbaserade diagram, då dessa representerar mer komplexa eller irrelevanta dimensioner av visuella hjälpmedel än vad studien avser att undersöka. Termerna *diagram* och *simulering* ingick i sökstrategin då de har en bred betydelse och kan omfatta visuella resurser såsom enkla animationer, stillbilder och illustrationer; vilket minskar risken att relevanta studier förbises.

Tabell 3: Tabellen visar en sammanfattning av exkluderingsprocessen.

Antal artiklar som bedömts och exkluderats	Exkluderingskriterier
<p>Första titel- och abstrakt granskning:</p> <p>ERIC: = 233 - 155 = 78 artiklar</p> <p>ERC: = 165 - 96 = 69 artiklar</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Irrelevant åldersgrupp/klass • Handlar ej om undervisning • Irrelevant för denna studie • Irrelevant ämnesområde • Handlar ej om biologi • Saknar visuella resurser eller fokuserar främst på mer avancerade visuella resurser som spel/VR/simulering/program • Irrelevant undervisningsmetod • Irrelevant underivsningsfokus • Irrelevant för studiens syfte • Dubbletter
<p>Andra abstrakt granskning:</p> <p>ERIC: = 78 - 47 = 31 artiklar</p> <p>ERC: = 69 - 22 = 22 artiklar</p>	
<p>Artiklar kvar efter dubblett-rensning: = 45 artiklar</p> <p>ERIC: = 31 - 8 = 23 artiklar</p> <p>ERC: = 22 - 0 = 22 artiklar</p>	
<p>Fulltext granskning:</p> <p>ERIC: = 23 - 12 = 11 artiklar</p> <p>ERC: = 22 - 11 = 11 artiklar</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Innehåll besvarar ej frågeställning • Inga eller otydliga utfall • Irrelevant ämnesområde • Irrelevant åldersgrupp • Fysiska 3D-modeller snarare än digitala • Fokuserar främst på mer avancerade visuella resurser som spel/VR/simulering/program
<p>Totala antalet godkända artiklar: 22</p> <p>ERIC: = 11 artiklar</p> <p>ERC: = 11 artiklar</p>	

2.5 Fulltext läsning

Efter den initiala granskningen lästes samtliga artiklar i fulltext. Relevanta uppgifter dokumenterades i en tabell utifrån land, publiceringsår, utfallsmått, typ av visuell resurs samt biologiområde. Informationen kompletterades med en kort kommentar till varje studie, vilket återfinns i bilaga 1.

3 Resultat

Resultaten presenteras utifrån vilken typ av visuell resurs som använts i undervisningen: statiska bilder, animationer och digitala interaktiva 3D-modeller. Inom varje kategori belyses hur resurserna användes, samt hur dessa påverkade elevers förståelse, motivation och intresse. Denna indelning gör det möjligt att jämföra hur olika typer av visuella representationer används och påverkar lärande i biologiundervisningen.

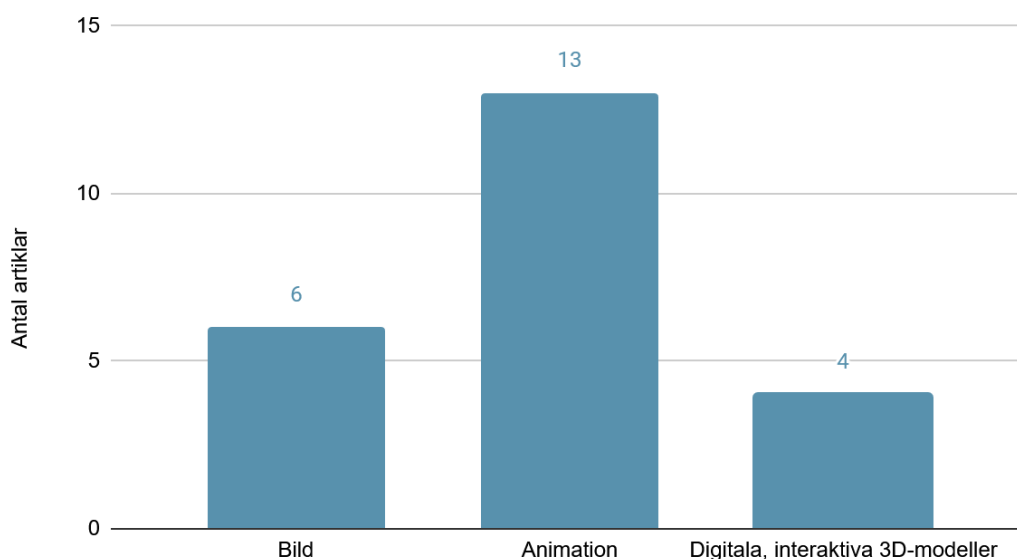
3.1 Översikt över artiklarna

Artiklarna kommer från totalt 14 länder. Flest från USA (4), följt av Tjeckien, Nederländerna, Indonesien, Sverige och Israel (2 vardera). Övriga länder, Kroatien, Indien, Kanada, Sydafrika, Etiopien, Nigeria, Storbritannien och Slovenien, representeras av en artikel var. Som framgår av figur 1 behandlade majoriteten av artiklarna animationer, medan färre fokuserade på bilder och ett mindre antal på digitala, interaktiva 3D-modeller. De flesta artiklar använde en blandning av kvantitativa och kvalitativa metoder. Figur 2 visar en ökning av publikationer över tid, med flest artiklar mellan 2015 och 2019 och fortsatt hög aktivitet 2020-2024. År 2025 visas inte i figuren eftersom inga artiklar från det året fanns i urvalet.

Artiklarna täcker ett brett spektrum av biologiområden. Flest fokuserade på cellbiologi (6 artiklar), följt av fysiologi och närliggande områden som anatomi och kroppens system (4 artiklar). Molekylärbiologi, fotosyntes, biokemi, genetik och bioteknik förekom i enstaka artiklar, medan ingen artikel berörde ekologiska eller evolutionära perspektiv.

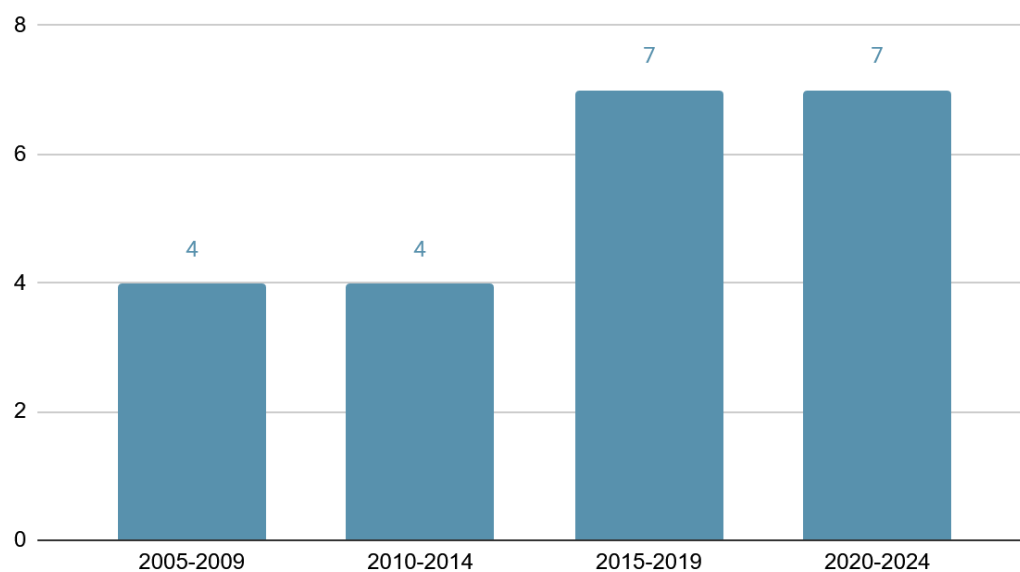
De vanligaste utfallsmåtten i de inkluderade artiklarna var relaterade till elevers kunskap och begreppsförståelse, följt av motivation, visualiseringsförmåga och minskning av missuppfattningar. Några artiklar undersökte även kognitiva faktorer som arbetsminne och kognitiv belastning, medan andra fokuserade på kommunikativa aspekter såsom språkbruk och meningsskapande i samband med visuella representationer.

Antal artiklar per visuell representation



Figur 1 visar antalet artiklar som undersökt olika typer av visuella representationer i biologiundervisningen. Flest artiklar behandlade animationer, följt av bilder och digitala, interaktiva 3D-modeller.

Artiklarnas publiceringsår



Figur 2 visar artiklarnas publiceringsår. Majoriteten av artiklarna publicerades mellan 2015 och 2019, med en fortsatt hög aktivitet under perioden 2020–2024.

3.2 Bilder i biologiundervisningen

Resultaten visar att bilder i biologiundervisningen främst används som verktyg för att representera strukturer, förklara processer och stödja elevernas begreppsförståelse. Majoriteten av de bilder som undersöktes var hämtade ur läroböcker. Artiklarna visar att bildens didaktiska funktion varierar beroende på dess utformning, hur realistisk eller förenklad den är, hur

förklarande den är, och hur den integreras i undervisningen. Endast sex artiklar fokuserade enbart på bilder (Wiley m.fl., 2017; Sirovina & Kovacevic, 2019; Singh & Khunyakari, 2023; Kragten m.fl., 2015; Cheung & Winterbottom, 2023; Cook, 2008), medan tre artiklar även inkluderade animationer men har ändå inkluderats här eftersom deras resultat kompletterar det om bilder.

3.2.1 Hur bilder användes i biologiundervisningen

Artiklarna visar att bilder i biologiundervisningen främst används som verktyg för att representera strukturer och processer på ett förenklat sätt. Bilderna reducerar ofta de biologiskt dynamiska och tredimensionella aspekterna till schematiska tvådimensionella framställningar (Rundgren & Tibell, 2010; Rundgren m.fl., 2012). I dessa sammanhang blev bildernas användning till för att identifiera och namnge delar, snarare än för att förklara mekanismer.

I flera av artiklarna användes läroboksbilder som stöd i lärarledda genomgångar eller elevaktiviteter. Mil m.fl. (2016) visade att bilder av enzyms aktivitet, exempelvis enzym och substratbindning, främst användes för att introducera begrepp men sällan visade de bakomliggande mekanismerna. På liknande sätt beskrev Cheung och Winterbottom (2023) hur elever använde diagram som hjälpmedel för att tolka fotomikrografer, medan Sirovina och Kovačević (2019) visade att läraren använde olika diagram över menstruationscykeln för att jämföra de olika diagrammen och som visuellt stöd till undervisningen. Kragten m.fl. (2015) använde i sin studie processdiagram som elevuppgifter, där bilderna fungerade som analytiska redskap snarare än passiva illustrationer.

Singh och Khunyakari (2023) samt Wiley m.fl. (2017) belyser gemensamt hur bilder i läroböcker ofta fyller en illustrativ snarare än pedagogisk funktion. Singh och Khunyakari visade att bilder i läroböcker om matsmältningssystemet sällan användes aktivt i undervisningen och präglades av inkonsekvent färgsättning, etikettering och proportioner. På liknande sätt fann Wiley m.fl. att realistiska och hybridbilder, som återger biologiska strukturer i en mer verklighetstrogen form, dominerade i läroböckerna, medan schematiska och förklarande diagram var mindre vanliga. Bilderna användes ofta som en integrerad del av texten men utan vägledning kring hur de skulle tolkas.

3.2.2 Hur bilder påverkade elevers lärande

Flera artiklar påvisar begränsningar i elevernas begreppsliga förståelse när bilder används utan vägledning. Rundgren och Tibell (2010) samt Rundgren m.fl. (2012) fann att elever ofta tolkade bilder som bokstavliga avbildningar och trodde till exempel att cellmembranets struktur var statisk och missförstod molekylrörelse och transport. Bilder hjälpte eleverna att identifiera strukturer, men ledde samtidigt till uppfattningar om processerna som linjära snarare än dynamiska. På liknande sätt visade Mil m.fl. (2016) att elever tolkade schematiska framställningar som realistiska avbildningar. Detta försvårade deras förståelse av molekylära mekanismer och ledde till beskrivningar av biologiska processer som något som "bara händer" snarare än som resultat av underliggande interaktioner. Eleverna saknade också förkunskaper för att kunna tolka det som inte kan visualiseras i bilder. Liknande resultat framkom i Cook (2008), där elever som studerade en förklarande illustration av meios kunde känna igen strukturer men hade svårt att förklara processens syfte och mekanismerna bakom. Endast 21 procent uppnådde begreppslig förståelse, och många blandade ihop meios med mitos. Samma typ av missuppfattningar speglades i artikeln av Rundgren och Tibell (2010) som visade att förenklade bilder riskerar att förstärka deterministiska föreställningar, att biologiska processer

sker linjärt och förutsägbart, samt leda till bristande förståelse för molekylers slumpmässiga rörelse.

När bilderna är otydliga, inkonsekvent etiketterade eller används utan lärarstöd riskerar de att skapa missuppfattningar och fragmenterad förståelse. Cook (2008) visade att färger och pilar underlättade minnet av sekvenser, men att förståelsen förblev ytlig utan lärarstöd. Missuppfattningar och fragmenterad förståelse framkommer tydligt i Singh och Khunyakari (2023), där elevernas egna ritningar av matsmältningssystemet visade felaktig ordning på organ och sammanblandning av olika system. Författarna konstaterar att bilderna i läromedlen inte berikade elevernas tänkande, utan snarare fungerade som ytliga komplement "Pictures were seen as a supplement instead of serving to enrich ideas and thinking" (s. 34).

Andra artiklar visade att välutformade och varierade bilder kan förbättra förståelsen. Sirovina och Kovačević (2019) fann att elever som undervisades med tre diagram över menstruationscykeln, som visade olika cykellängder, uppnådde en signifikant bättre förståelse och färre missuppfattningar än elever som endast sett ett klassiskt 28-dagarsdiagram. Andelen elever som korrekt kunde avgöra ägglossningens tidpunkt ökade från 16 % före undervisningen till 88,6 % i gruppen som undervisades med tre diagram, medan motsvarande ökning i kontrollgruppen endast nådde 53 %. Även två av de vanligaste missuppfattningarna, tron att ägglossning alltid sker på dag 14 respektive i mitten av cykeln, försvann i gruppen som undervisades med tre diagram. Författarnas slutsats var att en varierad och korrekt visuell representation av biologiska processer förbättrar elevers förståelse och motverkar felaktiga föreställningar. De betonade även vikten av att utveckla visuell läskunnighet hos både lärare och elever för att kunna tolka och skapa visuella representationer.

Resultaten belyser även att elevers förmåga att tolka bilder påverkas av deras förkunskaper och kognitiva resurser. Kragten m.fl. (2015) visade att tolkning av processdiagram kräver att elever integrerar visuell och verbal information samt aktiverar tidigare kunskap. Elever med starkare förmåga att bygga mentala modeller och mer utvecklade förkunskaper presterade bättre, särskilt vid komplexa uppgifter. Författarna betonar att elever behöver träning i att analysera och tolka processdiagram för att undvika kognitiv överbelastning och utveckla en djupare förståelse av biologiska processer. På liknande sätt visade Cheung och Winterbottom (2023) att elever med hög kompetens i att visualisera och skapa mentala modeller kunde integrera text och bild till sammanhängande förklaringar, medan de med låg kompetens fastnade vid ytliga drag som färg och form. Cheung och Winterbottom (2023) drog slutsatsen att djup förståelse kräver samtidig bearbetning av visuella och textuella representationer, och att detta sällan sker utan vägledning.

Gällande motivation visade Wiley m.fl. (2017) att realistiska och dekorativa bilder främst väcker elevers intresse och motivation, men riskerar att skapa en illusion av förståelse. Mer schematiska och förklarande diagram bedömdes däremot som mer effektiva för konceptuell förståelse. Författarna understryker vikten av att lärare aktivt diskuterar bildens syfte och funktion med eleverna, för att främja en medveten tolkning av visuella representationer i biologiundervisningen. Utöver bilder har flera artiklar (Mil m.fl., 2016; Rundgren m.fl., 2012; Rundgren & Tibell, 2010) även undersökt och jämfört bilder med animationer, vilka behandlas i nästa avsnitt.

Tabell 4 visar huvudsakliga resultat från de granskade artiklarna utifrån användning och lärandeffekt/utfall.

Artikel	Huvudsakliga resultat
Singh & Khunyakari (2023)	Bilder som används för att representera realism och struktur i matsmältningssystemet ledde till ytliga tolkningar och felaktig förståelse utan lärarstöd.
Cheung & Winterbottom (2023)	Fotomikrografier som stöd i cellbiologi förbättrade konceptuell förståelse och visuell läskunnighet när elever integrerade text och bild.
Sirovina & Kovačević (2019)	Jämförelse av flera diagram över menstruationscykeln minskade missuppfattningar och förbättrade testresultat.
Wiley m.fl. (2017)	Realistiska och illustrativa bilder inom allmän biologi ökade intresse men riskerade illusion av förståelse.
Mil m.fl. (2016)	Illustrationer för att introducera begrepp i cellbiologi synliggjorde elevernas uppfattningar.
Kragten m.fl. (2015)	Analys av processbilder i allmän biologi visade att spatial förmåga och arbetsminne påverkar och kräver goda förkunskaper.
Rundgren m.fl. (2012)	Bilder som representerar cellbiologiska strukturer stödde begreppsförståelse men kräver vägledning för att undvika linjära missuppfattningar.
Rundgren & Tibell (2010)	Illustrationer av cellbiologiska strukturer främjade begreppsförståelse men riskerade deterministiska tolkningar.
Cook (2008)	Illustrationen över meios stödde igenkänning av strukturer men gav låg begreppsförståelse, många förväxlade meios med mitos. Bilden fungerade som visuell referens snarare än förklarande stöd.

3.3 Animationer i biologiundervisningen

Artiklarna visar att animationer har blivit ett centralt verktyg i biologiundervisningen för att visualisera komplexa, abstrakta och ofta osynliga processer på molekylär nivå. Exempel på sådana biologiska processer är elektrontransportkedjan, DNA-replikation eller cellandning, och kan bidra till både förståelse och motivation samt intresse hos elever (O'Day, 2006; Teplá & Klímová, 2015; Yarden & Yarden, 2010). Tretton artiklar fokuserade på användningen av animationer i biologiundervisningen (se tabell 5). Flera studier kombinerade animationer med andra visuella representationer, såsom 3D-modeller och diagram, men har ändå inkluderats här eftersom animationerna utgjorde den centrala delen av undervisningen och stod i fokus för analysen av elevers förståelse och motivation.

3.3.1 Hur animationer användes i biologiundervisningen

Animationerna i de granskade artiklarna användes på olika sätt beroende på syfte, ämnesområde och undervisningsnivå. I flera av artiklarna fungerade de som didaktiska komplement till traditionell undervisning, där läraren styrde tempot och förklarade processerna medan

animationen visades (Mnguni & Moyo, 2021; O'Day, 2006; Teplá m.fl., 2022). Exempelvis använde Teplá och Klímová (2015) en serie Adobe-Flash-baserade animationer i biokemiundervisningen, där läraren kunde pausa och spola tillbaka sekvenser för att förklara elektrontransportkedjans steg. På liknande sätt använde Mnguni och Moyo (2021) en narrerad animation av mitos som pausades vid varje fas för att diskutera symboler och rörelser, vilket gav utrymme för reflektion och dialog. Även O'Day (2006) beskriver hur lärarledda PowerPoint-animationer användes för att visa dynamiska cellulära processer, med möjlighet till upprepning och paus, vilket underlättade förståelsen av sekventiella händelser.

I andra artiklar var animationerna integrerade i strukturerade undervisningsmodeller där de kombinerades med undersökande aktiviteter och diskussion. Mekonnen m.fl. (2024) integrerade animationer i varje fas av 7E Learning Cycle-modellen (elicit, engage, explore, explain, elaborate, evaluate och extend). Eleverna fick observera animationer av växtfysiologiska processer, formulera hypoteser och jämföra sina förklaringar före och efter visningen. En liknande kombination av multimodala verktyg och undersökande uppgifter användes i Utomo m.fl. (2020), där Flash-animationer integrerades i en STEAM-baserad bioteknikmodul som kopplade vetenskapliga och tekniska aspekter till begrepp som fermentering och växtvävnadsodling.

I flera fall användes animationer även som ersättning eller förstärkning av laborativa moment. Hamzat m.fl. (2017) utvecklade ett datoranimerat undervisningspaket som visade praktiska biologiska procedurer och därmed gjorde det möjligt för elever att "visuellt öva" laborativa färdigheter. I Mil m.fl. (2016) användes molekylära animationer för att illustrera hur cellaktiviteter uppstår ur molekylära händelser, såsom proteiners bindning och formförändring. Rotbain m.fl. (2008) använde interaktiva animationer i Logal Molecular Biology-miljön där eleverna kunde repetera DNA-replikation, transkription och translation stegvis med omedelbar feedback.

Slutligen fanns också självstyrda tillämpningar där animationerna fungerade som digitala läromedel utan lärarledd instruktion. Yarden och Yarden (2010) lät gymnasieelever arbeta i par med en datorbaserad PCR-animation och tillhörande övningar, där de själva fick ordna steg, matcha symboler och diskutera processens mekanismer. Starbek m.fl. (2010) lät elever individuellt styra hastighet och repetition i korta animationer om transkription och translation, medan Firdaus m.fl. (2024) använde YouTube-baserade videoanimationer som audiovisuella exempel kopplade till kroppens koordineringssystem.

3.3.2 Hur animationer påverkade elevers lärande

Resultaten från artiklarna visar gemensamt att animationer generellt förbättrar elevers begreppsförståelse, motivation och långtidsretention i biologi. Flera experimentella studier visar signifikant förbättrad prestation i eftertester jämfört med traditionell undervisning. I Hamzat m.fl. (2017) ökade testpoängen med i genomsnitt 3,41 poäng, medan Firdaus m.fl. (2024) rapporterade en höjning från 76,32 till 89,03 i experimentgruppen. Liknande mönster återfanns i Mekonnen m.fl. (2024), där elever som undervisades med animationer i 7E-modellen uppvisade både högre förståelse och färre missuppfattningar om fotosyntes och växttillväxt. Även Utomo m.fl. (2020) visade en stark effekt, med ett N-gain-värde på 0,72 (hög förbättringskategori), vilket bekräftar animationernas effektivitet som kognitivt stöd vid komplexa biotekniska begrepp.

På konceptuell nivå visar flera artiklar att animationer särskilt stödjer mekanistiskt tänkande, det vill säga förmågan att förstå orsakssamband mellan molekylära händelser. Yarden och Yarden (2010) fann att elever som använde animationer av PCR-processen uppvisade fler tecken på mekanistiskt resonemang än de som använde stillbilder i deras studie. Enligt Mil m.fl. (2016) kunde elever efter undervisning med animationer förklara biologiska fenomen mer detaljerat och använda begrepp som ”proteinets form ändras när det binder”, vilket tyder på förbättrad mekanistisk förståelse.

Animationer visade sig även minska kognitiva hinder kopplade till abstrakta eller så kallade ”osynliga processer”, det vill säga processer som man inte ser med blotta ögat. I Rundgren och Tibell (2010) samt Rundgren m.fl. (2012) förbättrades elevernas förståelse för molekylär rörelse och diffusion, även om vissa tolkningssvårigheter kvarstod när designen var otidlig. Författarna betonar att animationer måste kontextualiseras och kompletteras med lärarstöd för att undvika kognitiv överbelastning.

Utöver kognitiva effekter lyfter flera artiklar fram intresse och motivationsmässiga öknings. Elever beskrev animationer som mer engagerande och ”levande” än traditionella illustrationer (Starbek m.fl., 2010; O’Day, 2006; Teplá & Klímová, 2015). Mnguni och Moyo (2021) visade att animationer inte bara ökade förståelsen av mitos utan också förbättrade elevernas förmåga att tolka visuella representationer. Rotbain m.fl. (2008) rapporterade att elever upplevde ökad självständighet och motivation när de själva kunde styra tempo och antalet repetitioner, medan lärarna uppfattade animationerna som ett stöd för att undervisa om komplexa begrepp.

Sammanfattningsvis visar forskningen att animationer i biologiundervisningen bidrar till en djupare begreppslig förståelse, förbättrad prestation och ökad motivation. Effekten är särskilt stark när animationerna är väl designade, kombinerar visuella och verbala modaliteter, och används i en pedagogisk kontext som främjar interaktion och reflektion (Yarden & Yarden, 2010; Mekonnen m.fl., 2024; Utomo m.fl., 2020; Rotbain m.fl., 2008).

Tabell 5 visar huvudsakliga resultat från de granskade artiklarna utifrån användning och lärandeffekt/utfall.

Artikel	Huvudsakliga resultat
Firdaus m.fl. (2024)	Videoanimationer ökade elevernas begreppsförståelse och motivation i cell- och fysiologiska processer. Användes som audiovisuellt stöd kopplat till vardagliga exempel.
Mekonnen m.fl. (2024)	Animationer i 7E Learning Cycle förbättrade förståelsen och minskade missuppfattningar i växtfysiologi. Användes i undersökande aktiviteter och reflektion.
Mnguni & Moyo (2021)	Animationer stärkte visuell kompetens och minskade tolkningssvårigheter av visuella representationer i cellbiologi (mitos). Användes lärarlett för att utveckla förståelsen av representationer.
Utomo m.fl. (2020)	Flash-animationer i en STEAM-baserad modul ökade förståelsen markant inom bioteknik. De användes som visuellt stöd i uppgifter om biotekniska processer och för att koppla teori till praktik.

Hamzat m.fl. (2017)	Datoranimerat undervisningspaket höjde testresultaten i praktisk biologi. Användes för att demonstrera och förklara laborativa färdigheter.
Mil m.fl. (2016)	Animationer och modeller ökade förståelse för mekanismen bakom cellprocesser. Användes för att identifiera molekylära händelser och samband.
Teplá & Klimova (2015)	Interaktiva animationer ökade förståelse och motivation i biokemi (elektrontransportkedjan). Lärarledda visningar med paus och repetition stödde begreppslänkning.
Rundgren m.fl. (2012)	Animation om osmos ökade delvis förståelsen av molekylär dynamik. Användes för individuell tolkning och efterföljande diskussion.
Rundgren & Tibell (2010)	3D-animation visade slumpmässig molekylrörelse och ökade förståelsen av osmos. Självständig tolkning visade behov av tydlig design och lärarstöd.
Yarden & Yarden (2010)	Animation med styrda uppgifter förbättrade elevernas resultat och deras förståelse för hur PCR-processen fungerar. Elever arbetade i par med datorbaserade övningar.
Starbek m.fl. (2010)	Animationer ökade förståelse och långtidsminne i transkription och translation. Elever arbetade individuellt med interaktivt material.
Rotbain m.fl. (2008)	Interaktiva animationer ökade förståelse och motivation i DNA-processer. Elever arbetade stegvis med feedback och lärarstöd.
O'day (2006)	Flera visningar av narrerad animation ökade förståelse och retention i cellbiologi. Animationen användes som förklarande hjälpmedel för att visualisera dynamiska biologiska processer i cellbiologi.

3.4 Digitala interaktiva 3D-modeller i biologiundervisningen

Digitala interaktiva 3D-modeller användes i biologiundervisningen för att konkretisera komplexa processer och strukturer som annars kan vara svåra för elever att föreställa sig. Genom att eleverna kunde rotera, zooma och manipulera modellerna skapades möjligheter att visualisera biologiska fenomen ur flera perspektiv. Detta bidrog till att skapa en koppling mellan abstrakta fenomen samt begrepp och det observerbara (Wilder & Brinkerhoff, 2007; Rotbain m.fl., 2008; Teplá m.fl., 2022).

Fyra artiklar fokuserade på användningen av 3D-modeller som elever kunde manipulera eller utforska i realtid (Wilder & Brinkerhoff, 2007; Rotbain m.fl., 2008; Oliver m.fl., 2019; Teplá m.fl., 2022), medan en artikel (Rundgren & Tibell, 2010) jämförde 2D-bilder med en 3D-liknande animation. Två artiklar (Rundgren & Tibell, 2010; Rundgren m.fl., 2012) drog slutsatsen att elevers förståelse stärks när undervisningen möjliggör en övergång mellan två- och tredimensionella representationer, eftersom detta tränar deras rumsliga visualisering och abstrakta tänkande kring biomolekylära system och strukturer. De två artiklarna behandlas inte mer ingående i detta avsnitt eftersom de inte fokuserade på interaktiva 3D-modeller, men deras slutsatser anses ändå bidra till helheten i resultatet.

Gemensamt för de fyra resterande artiklarna är att användningen av 3D-modeller bidrog till att utveckla elevernas rumsliga förståelse, deras förmåga att föreställa sig objekt och relationer i rummet, samt deras representationskompetens, det vill säga förmågan att uttrycka modeller på olika sätt. Dessutom ökade intresset för biologiska system.

3.4.1 Hur digitala interaktiva 3D-modeller användes i biologiundervisningen

De digitala 3D-modellerna användes i artiklarna på flera olika sätt, beroende på undervisningens nivå, innehåll och syfte. I flera artiklar integrerades modellerna som en del av den ordinarie undervisningen, där eleverna kunde manipulera, rotera och zooma in på strukturer för att utforska biologiska fenomen ur olika perspektiv (Teplá m.fl., 2022; Oliver m.fl., 2019). I Teplá m.fl. (2022) användes programmet Corinth, som innehöll interaktiva modeller och animationer av bland annat cellens struktur och blodcirkulation. Lärarna inkluderade dessa resurser i nästan varje lektion för att konkretisera abstrakta begrepp, utan att förändra den ordinarie undervisningen i övrigt. På liknande sätt använder Oliver m.fl. (2019) interaktiva 3D-modeller i datorbaserade fallstudier, där eleverna kunde navigera i kroppens system, mäta koncentrationer och observera fysiologiska förändringar i realtid. I båda fallen användes modellerna som visuella och manipulerbara hjälpmedel för att skapa samband mellan olika biologiska nivåer och göra lärandet mer undersökande och upplevelsebaserat.

Utöver själva interaktionen med modellerna framhöll flera artiklar vikten av att kombinera dessa moment med lärarstöd och reflektion för att fördjupa förståelsen. I Wilder och Brinkerhoff (2007) vägledades eleverna genom strukturerade frågor och lärarledd handledning som hjälpte dem att tolka och jämföra biomolekylära strukturer. På liknande sätt kombinerade Rotbain m.fl. (2008) de interaktiva momenten med gemensamma diskussioner, där läraren knöt samman de observerade förändringarna i modellerna med genetiska processer. Även Teplá m.fl. (2022) betonade vikten av kontinuerlig användning av modeller tillsammans med lärarens förklaringar och efterföljande reflektion, vilket ökade elevernas motivation och förståelse. I Oliver m.fl. (2019) integrerades handledning och gruppdiskussioner i de digitala fallstudierna, där eleverna gemensamt resonerade kring orsak-verkan-relationer utifrån de biologiska modellerna. Tillsammans visar artiklarnas resultat att interaktiva 3D-modeller är mest effektiva när de används i en undervisningsmiljö som kombinerar lärarstöd, reflektion och aktivt utforskande.

Andra studier använde interaktiva 3D-modeller under korta och tydligt avgränsade moment som fokuserade på molekylära strukturer och processer. Wilder och Brinkerhoff (2007) lät elever arbeta med programmet Chemscape Chime, där biomolekyler som hemoglobin kunde roteras, färgkodas och visas i olika vyer. Genom att växla mellan representationslägen, som *backbone* (visar proteinets grundläggande kedjestruktur utan sidokedjor) och *ribbon* (visar proteinets sekundärstruktur, som alfahelixar och betaflak, i bandform), kunde eleverna koppla ihop struktur och funktion på molekylär nivå. Liknande metoder användes i Rotbain m.fl. (2008), där tredimensionella animationer visade DNA-replikation, transkription och translation. Eleverna kunde stegvis observera hur förändringar på DNA-nivå påverkade RNA och protein, vilket gjorde de molekylära sambanden mer konkreta och begripliga.

Sammantaget visar studierna (Wilder & Brinkerhoff, 2007; Rotbain m.fl., 2008; Oliver m.fl., 2019; Teplá m.fl., 2022) att digitala 3D-modeller användes både som lärarstyrda demonstrationsverktyg och som interaktiva resurser där eleverna själva kunde utforska, manipulera och reflektera över biologiska fenomen.

3.4.2 Hur digitala interaktiva 3D-modeller påverkade elevers lärande

Resultaten från de fyra artiklarna visade gemensamt att digitala interaktiva 3D-modeller kan bidra till både förbättrad begreppsförståelse och ökad motivation. Flera av artiklarna pekade på att modellerna underlättar utvecklingen av rumslig förståelse och representationskompetens, det vill säga elevernas förmåga att tolka och växla mellan olika typer av visuella framställningar (Wilder & Brinkerhoff, 2007). Elever som arbetade med interaktiva modeller i Chemscape Chime visade betydlig förbättrad förmåga att identifiera och analysera molekylära strukturer, med stor effekt (Wilder & Brinkerhoff, 2007).

Liknande mönster framkom i studier som fokuserade på molekylära processer och mekanistisk förståelse. Rotbain m.fl. (2008) visade att 3D-animationer hjälpte elever att utveckla mentala modeller av DNA och proteinsyntes, och många elever beskrev att de för första gången kunde se hur genetisk information översätts till protein. Oliver m.fl. (2019) rapporterade motsvarande resultat i digitala fallstudier där elever använde 3D-modeller för att observera biologiska system i realtid. En tydlig förbättring sågs i elevernas förmåga att identifiera orsak-verkan-relationer och att integrera kunskap från flera biologiska nivåer.

Även när det gäller motivation och intresse, visade resultaten från studierna genomgående positiva effekter. I Teplá m.fl. (2022) ökade elevernas inre motivation signifikant i flera komponenter: intresse, ansträngning, upplevd kompetens och uppfattad nytta. Lärarna beskrev att lektionerna blev mer dynamiska och att även tidigare passiva elever engagerades i undervisningen. Wilder och Brinkerhoff (2007, s. 17-19) noterade liknande effekter, där eleverna beskrev visualiseringarna som ett stöd för lärandet eftersom de, som de själva uttryckte det, ”kunde se hur allt verkligen fungerar”.

Teplá m.fl. (2022) visade att elever som undervisades med interaktiva 3D-modeller presterade avsevärt bättre på kunskapstester och uppvisade högre inre motivation än elever som undervisades med traditionella metoder. Studien jämförde användningen av 3D-modeller, 2D-bilder och animationer och fann att interaktiva 3D-modeller ledde till de största förbättringarna i såväl förståelse som motivation, särskilt i biologi och kemi. Eleverna som arbetade med modellerna utvecklade en mer avancerad förståelse av komplexa begrepp och samband mellan molekylära, cellulära och organismnivåer, medan kontrollgruppen som använde konventionella läromedel visade mindre resultat på kunskapstester. De interaktiva modellerna minskade dessutom den kognitiva belastningen genom att låta eleverna manipulera och observera strukturer ur flera perspektiv, vilket skapade en mer aktiv och engagerande lärandemiljö. Denna kombination av visuellt stöd och interaktivt utforskande visade sig vara mest effektiv när den kompletterades med lärarledd vägledning och reflektion, vilket enligt författarna bidrog till en djupare begreppslig förståelse och ett mer hållbart lärande.

Sammantaget visar forskningen (Wilder & Brinkerhoff, 2007; Rotbain m.fl., 2008; Oliver m.fl., 2019; Teplá m.fl., 2022) att interaktiva 3D-modeller kan bidra till djupare begreppsförståelse, stärkt rumslig och representativ kompetens samt ökad motivation. Effekterna blir särskilt tydliga när modellerna används kontinuerligt och kombineras med lärarstöd, diskussion och reflektion, vilket gör dem till ett effektivt verktyg för att förena visuellt lärande med aktivt utforskande.

Tabell 6 visar huvudsakliga resultat från de granskade artiklarna utifrån användning och lärandeffekt/utfall.

Artikel	Huvudsakliga resultat
Teplá m.fl. (2022)	Användning av 3D-modeller samt animationer ökade elevers inre motivation och förbättrade särskilt kunskaper i kemi och biologi; effekten påverkades även av ålder, ämnesområde och lärarens personlighet.
Oliver m.fl. (2019)	Interaktiva datorbaserade 3D-modeller i biologifallstudier förbättrade elevers konceptuella förståelse och problemlösningsförmåga samt ökade engagemanget genom att elever kunde utforska biologiska system i realtid.
Rotbain, Marbach-Ad och Stavay (2008)	Användning av datorbaserade 3D-animationer i undervisning om DNA-replikation, transkription och translation förbättrade elevernas mentala modeller av molekylära processer och ökade motivationen och självständigheten i lärandet.
Wilder och Brinkerhoff (2007)	Undervisning med interaktiva 3D-visualiseringar av biomolekyler i Chemscape Chime ökade elevernas representationskompetens och begrepps-förståelse signifikant, särskilt i uppgifter som krävde att tolka strukturer och funktioner.

4 Diskussion

Detta avsnitt diskuterar resultaten från forskningsöversikten i relation till de formulerade frågeställningarna, relevanta didaktiska teorier och tidigare forskning. Avsnittet inleds med en metoddiskussion och avslutas med förslag på framtida forskning. Syftet med diskussionen är att sätta resultaten i ett bredare sammanhang samt att problematisera deras implikationer för biologiundervisningen på gymnasiet. Forskningsöversiktens frågeställningar besvaras i slutsatsen efter diskussionsavsnittet.

4.1 Centrala mönster och forskning

Resultaten visar att visuella representationer, bilder, animationer och digitala 3D-modeller, spelar en central roll i biologiundervisningen, men deras effekt på elevers lärande varierar beroende på utformning, användning och grad av lärarstöd (Mayer & Moreno, 2002; Tibell & Rundgren, 2010).

Bilder

Statiska bilder används främst för att representera strukturer och begrepp, vilket stödjer elevers igenkänning och begreppsbildning. Samtidigt visar resultatet att bilder ofta tolkas bokstavligt och därmed riskerar att skapa ytliga eller felaktiga föreställningar om biologiska fenomen (Rundgren & Tibell, 2010; Cook, 2006). Deras styrka ligger i att möjliggöra jämförelser och strukturförståelse, men de är begränsade i att återge dynamik och rörelse. Som Sirovina och Kovačević (2019) framhåller kan dock välkonstruerade och varierade bilder främja begrepps-förståelse och motverka missuppfattningar, särskilt när de används med en tydlig didaktisk avsikt.

Animationer

Animationer framstår däremot som särskilt effektiva för att visualisera biologiska processer och mekanismer över tid. De stärker elevernas mekanistiska tänkande och bidrar till att koppla samman orsak och verkan i biologiska förlopp (Mayer & Moreno, 2002; Yarden & Yarden, 2010). Animationer har också visat sig öka elevernas motivation och engagemang, särskilt när de kombineras med lärarledd reflektion. Samtidigt framkommer att animationer kan leda till kognitiv överbelastning om de är för snabba, komplexa eller om de presenteras utan pedagogisk vägledning (Moreno & Mayer, 2007; Van Merriënboer & Sweller, 2005).

Digitala interaktiva 3D-modeller

De digitala interaktiva 3D-modellerna framträder i sin tur som det mest kraftfulla verktyget för att stödja både konceptuell förståelse och motivation. De möjliggör dessutom aktivt utforskande och utvecklar elevers rumsliga förståelse, vilket är centralt för att tolka biologiska strukturer och samband (Rotbain m.fl., 2008). Effekten blir särskilt stark när modellerna används kontinuerligt i kombination med lärarstöd och reflektion, vilket överensstämmer med teorier om multimodalt lärande (Moreno & Mayer, 2007; Ainsworth, 2006).

Likheter och skillnader

Ett genomgående mönster i resultatet är att visuella representationer inte är självinstruerande. Deras pedagogiska värde uppstår först när de används i en didaktiskt genomtänkt kontext (Rundgren & Tibell, 2010; Cheung & Winterbottom, 2023; Teplá m.fl., 2022). Elever behöver vägledning för att tolka visuella framställningar och koppla dem till underliggande biologiska mekanismer. Förkunskaper framträder också som en gemensam faktor som påverkar hur eleverna tolkar och förstår visuellt material; elever med starkare ämneskunskaper lyckas i högre grad integrera text och bild till en sammanhängande helhet (Kragten m.fl., 2015; Cheung & Winterbottom, 2023). Detta tyder på att det inte enbart är visuell läskunnighet som påverkar hur elever tolkar visuella representationer, utan att även erfarenhet av sådana representationer och ämneskunskaper spelar en avgörande roll.

Samtidigt framkommer viktiga skillnader mellan de olika representationstyperna. Bilder visade sig vara mest effektiva för att synliggöra strukturer, jämföra stadier och stödja begreppsbyggnad, men begränsade i att förmedla rörelse och dynamik (Rundgren & Tibell, 2010; Mil m.fl., 2016). Animationer däremot underlättade förståelsen av processer och mekanismer, men kunde skapa kognitiv överbelastning om de var för snabba eller komplexa (Mnguni & Moyo, 2021; Teplá & Klímová, 2015). De interaktiva 3D-modellerna framstod som det mest kraftfulla verktyget för att främja både begrepslig förståelse och motivation, då de möjliggör aktivt utforskande och främjar rumslig visualisering (Wilder & Brinkerhoff, 2007; Rotbain m.fl., 2008; Teplá m.fl., 2022). 3D-modeller används däremot i större utsträckning inom specifika och avgränsade områden av biologin.

Sammantaget visar resultaten att graden av dynamik i de visuella representationerna, och interaktivitet, påverkar vilken typ av förståelse som utvecklas: bilder stödjer strukturförståelse, animationer processförståelse och 3D-modeller helhetsförståelse mellan olika biologiska nivåer, särskilt gällande cell- och molekylärbiologi.

4.2 Didaktiska implikationer för biologiundervisningen

Utifrån resultaten framträder flera didaktiska implikationer för biologiundervisningen, särskilt i relation till teorier om kognitiv belastning (Sweller, 1988), multimodalt lärande (Mayer, 2007)

och konceptuell förståelse (Ainsworth, 2006). Dessa teorier kan förklara varför visuella representationer ibland underlättar, och ibland försvårar, elevernas lärande.

Resultatet bekräftar tidigare forskning om att multimodala representationer kan stödja elevernas förståelse i biologi, men endast när de används medvetet och samordnat. Liksom Mayer och Moreno (2002) samt Ainsworth (2006) visade, framkom det i vår forskningsöversikt att kombinationen av text, bild och animation kan underlätta skapandet av mentala modeller, särskilt när läraren aktivt vägleder elevernas tolkning. Samtidigt visar resultatet och forskning att alltför komplexa och oorganiserade multimodala resurser riskerar att öka den kognitiva belastningen och därmed motverka förståelsen (Van Merriënboer & Sweller, 2005). Detta tyder på att multimodalitet i sig inte garanterar djupinläring, utan att lärarens didaktiska val och förmåga att balansera mängden information är avgörande för hur multimodala verktyg faktiskt stödjer lärandet.

Visuella representationer som stöd och utmaning

Utifrån resultaten blir det tydligt att visuella representationer kan fungera som kraftfulla stöd för lärande, men att deras effekt beror på hur de används och integreras i undervisningen. Det är lätt att som lärare utgå från att bilder och modeller alltid underlättar förståelse, utan att reflektera över vilka föreställningar de skapar hos eleverna. En cellbild kan exempelvis framstå som ett stöd, men samtidigt bidra till en statisk och förenklad uppfattning av en annars dynamisk biologisk process (Rundgren & Tibell, 2010; Cook, 2008). I praktiken är det ofta svårt att hinna problematisera varje bild, vilket pekar på tidsbrist som en central didaktisk utmaning i undervisningen.

Samtidigt visar resultaten att animationer och 3D-modeller erbjuder nya möjligheter att konkretisera processer och öka elevengagemanget. Deras interaktiva karaktär gör att elever kan utforska och uppleva det biologiska innehållet på ett mer upplevelsebaserat sätt. Detta ligger i linje med ämnesplanen för biologi (Biologi, 2024), där elevernas förmåga att analysera och tolka naturvetenskapliga fenomen genom olika uttrycksformer betonas. För att dessa verktyg ska bli pedagogiskt verksamma krävs dock tydlig instruktion, tillgång till resurser samt kontinuerligt lärarstöd. Detta väcker frågan om hur visuella representationer bäst kan användas för att stödja förståelse utan att förenkla eller överbelasta elevernas kognitiva resurser.

Kognitiv belastning och behovet av balans

Därför blir en central didaktisk fråga som uppstår i analysen hur lärare kan balansera mellan att ge stöd och att undvika kognitiv överbelastning. Elever tenderar ofta att tolka vetenskapliga bilder bokstavligt, vilket kan leda till missuppfattningar, exempelvis att cellens strukturer är statiska eller att molekylära processer sker i ordnade sekvenser utan slumpmässighet (Rotbain et al., 2008). Därför är det avgörande att läraren inte bara väljer lämpliga visuella verktyg, utan också planerar hur de integreras i undervisningen för att undvika kognitiv överbelastning (Sweller, 1988; Van Merriënboer & Sweller, 2005).

Kognitiv överbelastning, Cognitive Load Theory (CLT), förklarar att inläring påverkas av tre typer av kognitiv belastning: uppgiftens svårighetsgrad, hur informationen presenteras och den ansträngning som leder till meningsfull förståelse (Mayer & Moreno, 2002). Om den inneboende eller presentationsrelaterade belastningen blir för hög minskar utrymmet för den bearbetning som krävs för begreppsligt lärande. Men, när visuella representationer används medvetet kan de stödja djupare förståelse genom att konkretisera abstrakta processer och synliggöra samband som annars förblir osynliga (Teplá et al., 2022; Yarden & Yarden, 2010;

Oliver et al., 2019). Mayer (2007) framhåller att effektivt multimodalt lärande uppstår när visuella och verbala modaliteter kompletterar varandra, vilket kräver noggrant pedagogiskt planerade kombinationer av text, bild och ljud. Dessa resultat understryker vikten av lärarens roll i att styra elevernas uppmärksamhet mot det väsentliga och att skapa en balans mellan kognitiv utmaning och begriplighet.

Forskning pekar också på riskerna med ett överflöd av visuella resurser. För många eller alltför komplexa bilder kan skapa illusioner av förståelse utan djupbearbetning, eftersom elevernas arbetsminne överbelastas (Cook, 2006; Höffler & Leutner, 2007; Moreno & Mayer, 2007; Teplá et al., 2022). Elever kan då fokusera på ytliga detaljer i stället för innehållets betydelse. Därför är lärarens aktiva vägledning och tydliga koppling till lärandemål avgörande. För att hantera riskerna med kognitiv överbelastning är det också viktigt att elever utvecklar visuell läskunnighet och representationskompetens

Visuell läskunnighet och representationskompetens

Därför blir en annan central aspekt behovet av att utveckla elevernas visuella läskunnighet, *visual literacy* (Avgerinou & Pettersson, 2011), vilket betonar vikten av att kunna tolka, skapa och värdera visuella uttrycksformer i lärande. Som Teplá m.fl. (2022) framhåller påverkar elevernas tidigare erfarenheter av visuella medier hur effektivt de kan tillgodogöra sig nya visuella representationer. Undervisningen bör därför inkludera moment där eleverna tränas i att tolka, ifrågasätta och resonera kring bilder och modeller, snarare än att enbart konsumera dem. Detta ska dock inte ske på bekostnad av det huvudsakliga syftet: att de visuella representationerna ska främja förståelse för biologiska fenomen. Momenten bör vara noggrant didaktiskt utformade och integrerade som en naturlig del av undervisningen. En sådan medveten och reflekterad användning av visuella resurser framstår som en central insikt utifrån forskningsöversiktens resultat.

Utvecklingen av visuell läskunnighet, förmågan att tolka, värdera och växla mellan olika typer av representationer, är därför avgörande (Kragten et al., 2015; Avgerinou & Pettersson, 2011). Genom att analysera symboler, färgkoder och proportioner kan elever bygga en djupare begreppsförståelse och koppla samman makro-, mikro- och symbolnivåer i biologiska system (Sirovina & Kovačević, 2019; Tibell & Rundgren, 2010). Ett viktigt didaktiskt fokus är att läraren tydliggör syftet med varje visuell representation, så att elever förstår varför en specifik bild, animation eller modell används och hur den relaterar till det biologiska begreppet som behandlas. På detta sätt kan visuella representationer också bidra till utvecklingen av elevernas *kritiska* visuella kompetens och representationskompetens (Kozma, 2005).

För att främja visuell läskunnighet krävs även lärarens reflektion och handledning. Lärare behöver vara väl insatta i de digitala resurser som används för att kunna vägleda eleverna och förebygga missuppfattningar. Egenproducerade eller lärarskapade bilder kan förstärka idéer, förutsatt att de utformas konsekvent och med tydligt syfte. Om bilder också används främst för att väcka intresse bör detta kommuniceras tydligt, så att elever inte förväxlar bildens symboliska innehåll med vetenskaplig verklighet.

Motivation och intresse

Interaktiva och estetiskt tilltalande visuella resurser kan enligt Self-Determination Theory (Deci & Ryan, 2000) stärka elevernas inre motivation genom att väcka nyfikenhet och ge känsla av autonomi och kompetens. Våra resultat visar att manipulering av digitala modeller, utforskande av animationer eller analys av flera diagram parallellt ökar både engagemang och viljan att

förstå biologiska processer. Forskning visar att sådana resurser inte bara förmedlar information utan också aktiverar elevernas utforskande och intresse (Teplá m.fl., 2022; Rotbain m.fl., 2008; Wilder & Brinkerhoff, 2007). Animationer som kan pausas och diskuteras (Mnguni & Moyo, 2021; Teplá & Klímová, 2015) samt 3D-modeller som kan roteras och manipuleras (Oliver m.fl., 2019; Wilder & Brinkerhoff, 2007) ger eleverna både autonomi och ökat engagemang. Som framgår av resultaten beskrev eleverna sådana resurser som mer "levande" och engagerande än statiska bilder (Starbek m.fl., 2010; O'Day, 2006), och lärarna uppfattar dem som effektiva stöd för att förklara komplexa processer.

Samtidigt leder visuella resurser inte automatiskt till förståelse. Passivt använda läroboksbilder kan öka intresse men skapa illusioner av förståelse (Wiley m.fl., 2017; Singh & Khunyakari, 2023). Motivation och engagemang måste därför kopplas till ett tydligt syfte: att främja begreppslig förståelse och djupinläring. Utan vägledning kan elever fokusera på ytliga detaljer eller estetiska inslag i stället för biologiskt innehåll. Man bör inte heller eftersträva perfekta visuella representationer, eftersom detta kan ta värdefull tid från lärarens övriga undervisning. Det centrala är i stället att kunna problematisera de visuella representationerna, få insikt om när och hur de fungerar bäst i undervisningen för att främja förståelse, och att ge eleverna möjlighet att utveckla sin förmåga att tolka dem. Detta är, liksom all didaktisk praktik, en konst som ständigt utvecklas hos både lärare och elever och utgör en del av det livslånga lärandet.

Sammanfattningsvis fungerar motivation och intresse som katalysatorer för lärande. Engagerande visuella representationer ökar uthållighet och vilja att bearbeta innehåll, men effekten beror på pedagogisk tydlighet och koppling till begreppslig förståelse. Lärare behöver balansera aktiviteter som väcker nyfikenhet med reflektion och analys för att stärka både motivation och lärande.

Sammanfattning

Forskningen visar att visuella representationer både kan underlätta och försvåra lärande, beroende på hur de används. I relation till våra resultat framstår det som centralt att undervisningen balanserar mellan att förenkla och problematisera, vägleda och låta elever upptäcka själva. Genom medveten progression, tydlig guidning och träning i att analysera och använda visuella verktyg kan elever utveckla förmågan att analysera, jämföra och kommunicera biologiska processer. Detta skapar dessutom en naturlig grund för att främja vetenskaplig förståelse.

4.3 Förslag på framtida forskning

Framtida forskning bör särskilt fokusera på digitala och interaktiva 3D-modeller, eftersom dessa framkom som underrepresenterade i det material vi analyserade. Samtidigt bör det beaktas att 3D-modeller inte är relevanta för alla delar av biologiundervisningen, medan bilder och animationer har en bredare tillämpning. Trots detta är värdet av 3D-modeller betydande, särskilt för att synliggöra komplexa och abstrakta processer inom exempelvis cell- och molekylärbiologi. Deras interaktiva potential gör också undervisningen mer undersökande och elevaktiv, vilket kan stimulera nyfikenhet och fördjupad förståelse.

I flera av de granskade studierna framkom att undervisningens utformning påverkas starkt av lokala förutsättningar och nationella läroplaner. Då visuella resurser som bilder, animationer och 3D-modeller är generella och tillämpbara i olika sammanhang, bedömer vi att resultaten i många fall även kan överföras till svensk skolkontext. Dock finns ett behov av mer forskning

som explicit utgår från svenska förhållanden och läroplaner för att stärka relevansen för den svenska undervisningspraktiken.

Ett särskilt intressant spår för framtida forskning är begreppet *visuell läskunnighet* (*visual literacy*), detta begrepp är relativt etablerat i internationell forskning men sällan tillämpat inom svensk pedagogisk och didaktisk kontext utifrån våra erfarenheter som lärarstudenter. Fler studier skulle kunna undersöka hur elevers och lärares förmåga att tolka och använda visuella representationer påverkar lärandet i biologi. Eftersom bilder ofta tas för givna i undervisningen finns en risk att elever, till skillnad från ämneskunniga lärare, inte förstår vad illustrationerna egentligen avser att förmedla. Forskning som fördjupar förståelsen för hur visuell läskunnighet kan utvecklas i undervisningen skulle därför vara didaktiskt och praktiskt värdefull.

Sammantaget visar denna forskningsöversikt att visuella representationer utgör både en möjlighet och en utmaning för biologiundervisningen. Genom fortsatt forskning, särskilt med fokus på hur lärare och elever tolkar och använder digitala visualiseringar, kan undervisningen utvecklas mot en mer medveten och effektiv användning av visuella verktyg för lärande.

4.4 Metoddiskussion

Den systematiska litteratursökningen med definierade sökblock och inklusions- och exklusionskriterier ökade studiens transparens och reproducerbarhet. Genom att använda väletablerade databaser med referentgranskade artiklar inom pedagogik säkerställdes hög vetenskaplig relevans. Samtidigt kan urvalet ha uteslutit vissa tvärvetenskapliga studier, vilket kan ha skapat en viss obalans mot pedagogiska perspektiv snarare än tekniska eller psykologiska aspekter av visuella representationer.

Under arbetet framkom att 3D-modeller ofta används i universitetsstudier om människokroppen och att kemiämnet dominerar forskningen om visuella representationer. Detta visar att biologi är mindre representerat inom fältet, vilket gör vår forskningsöversikt särskilt värdefull genom att den belyser biologins position i denna kontext.

En begränsning gäller språk och publiceringsår. Sökningen avgränsades till engelska och svenska artiklar publicerade 2005–2025 för att få aktuella och relevanta studier. Detta kan dock ha uteslutit äldre eller icke-engelskspråkiga arbeten som kunnat bidra med kompletterande perspektiv.

Valet av söktermer påverkade också resultatets omfattning. Trots ett systematiskt arbete med synonymer finns en risk att vissa studier inte identifierades eftersom begrepp som *model* och *simulation* används på olika sätt i olika forskningsfält. Att inkludera bredare termer som *diagram* och *simulation* var därför ett medvetet val för att undvika bortfall, även om det ökade antalet irrelevanta träffar vid screeningen. Flera studier visade också en otydlig terminologi, där till exempel animationer benämns som simuleringar, vilket tydliggör begreppens komplexitet. På samma sätt har vi valt att i denna forskningsöversikt benämna digitala interaktiva 3D-modeller enbart som sådana, utan att klassificera dem som simuleringar. Även om de kan betraktas som en form av simulering, saknar de ofta den komplexitet som exempelvis miljöbaserade simuleringar har, där resultat kan manipuleras och analyseras. Vi skiljer därför mellan digitala interaktiva 3D-modeller och simuleringar, eftersom huvudsyftet med de förstnämnda är att visuellt illustrera fenomen eller strukturer, snarare än att generera eller förutsäga resultat. På så sätt vill vi tydliggöra att det är just dessa modeller vi avser.

Screeningsprocessen genomfördes stegvis av båda författarna för att öka reliabiliteten och minska subjektivitet. Oenigheter diskuterades tills samsyn uppnåddes. Användningen av ett delat Zotero-bibliotek underlättade spårbarhet och borttagning av dubletter, vilket stärkte transparensen. Dock innebär manuella moment, som taggning och export, en viss risk för mänskliga fel.

Sammanfattningsvis bedömer vi att metodens styrka ligger i dess tydliga struktur, transparens och reproducerbarhet. Begränsningarna rör framför allt urvalets omfattning (databaser, språk och årtal), variationer i begreppsanvändning samt en viss subjektivitet i bedömningen av relevans. Dessa faktorer bör beaktas vid tolkningen av resultatet, men vi menar att metodvalet ändå gav en tillräckligt bred och representativ grund för att besvara studiens frågeställningar och belysa fältets aktuella forskningsläge.

5 Slutsats

Utifrån våra resultat kan vi dra slutsatsen att statiska bilder, animationer och digitala interaktiva 3D-modeller används på olika sätt i gymnasiets biologiundervisning, och påverkar elevers förståelse, motivation och intresse i olika grad.

Följande frågeställningar besvaras i slutsatsen:

1. Hur används statiska bilder, animationer och digitala interaktiva 3D-modeller i gymnasiets biologiundervisning?
2. Hur påverkar dessa visuella representationer elevers förståelse, motivation och intresse?

Hur används dessa resurser i gymnasiets biologiundervisning?

Statiske bilder används främst för att konkretisera och förenkla komplexa biologiska processer, men riskerar samtidigt att ge en statisk eller förenklad bild av dynamiska system. Animationer och interaktiva 3D-modeller används ofta för att illustrera processer på molekylär eller cellulär nivå, vilket möjliggör utforskande och en mer upplevelsebaserad förståelse.

Hur påverkar dessa visuella representationer elevers förståelse, motivation och intresse?

När visuella resurser används med tydligt syfte, kopplade till begrepp och med vägledning från läraren, stödjer de både konceptuell förståelse och utveckling av begreppsforståelse. Bilder underlättar jämförande analys, begreppsforståelse och förståelse av strukturer; animationer främjar konceptuell förståelse och mekanistiskt tänkande; medan digitala interaktiva 3D-modeller stärker alla dessa aspekter samt den rumsliga förståelsen. Interaktiva verktyg, både animationer eller 3D-modeller, kan dessutom öka motivationen och intresset genom att elever får manipulera modeller, observera konsekvenser och aktivt utforska samband. Omvänt kan otydliga eller överbelastade visuella representationer leda till ytlig förståelse, samt minska fokus på det konceptuellt relevanta.

Slutsatsen är därför att effektiv användning av visuella representationer i biologiundervisningen kräver medveten didaktisk planering, där läraren tydliggör syftet med varje resurs, anpassar komplexitet efter elevernas förkunskaper och kombinerar olika modaliteter på ett sätt som främjar både begreppslig förståelse och elevengagemang. Genom sådan medveten användning kan visuella representationer fungera som kraftfulla verktyg för att stödja både lärande och motivation i gymnasiets biologiundervisning.

Referenslista

Ainsworth, S. (2006). DeFT: *A conceptual framework for considering learning with multiple representations*. *Learning and Instruction*, 16(3), 183–198.

<https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2006.03.001>

Avgerinou, M. D., & Pettersson, R. (2011). *Toward a cohesive theory of visual literacy*.

Journal of Visual Literacy, 30(2), 1–19.

<https://doi.org/10.1080/23796529.2011.11674687>

Baltrušaitis, T., Ahuja, C., & Morency, L.-P. (2017). Multimodal Machine Learning: A Survey and Taxonomy (No. arXiv:1705.09406). arXiv.

<https://doi.org/10.48550/arXiv.1705.09406>

Biologi [ämnesplan]. (2024). Skolverket.

<https://www.skolverket.se/undervisning/gymnasieskolan/program-och-amnen-i-gymnasieskolan/hitta-program-amnen-och-kurser-i-gymnasieskolan-gy11/amne?url=907561864%2Fsyllabusew%2Fjsp%2Fsubject.htm%3FsubjectCode%3DBIO%26version%3D2%26tos%3Dgy&sv.url=12.5dfce44715d35a5cdfa92a3>

Cheung, K. K. C., & Winterbottom, M. (2023). Students' integration of textbook representations into their understanding of photomicrographs: Epistemic network analysis. *Research in Science & Technological Education*, 41(2), 544–563.

<https://doi.org/10.1080/02635143.2021.1920382>

Chi, M. T. H. (2008). Three types of conceptual change: Belief revision, mental model transformation, and categorical shift. In S. Vosniadou (Ed.), *International Handbook of Research on Conceptual Change* (pp. 61–82). Routledge.

- Cook, M. (2008). Students' Comprehension of Science Concepts Depicted in Textbook Illustrations. *Electronic Journal of Science Education*, 12(1), 39–54.
- Cook, M. P. (2006). Visual representations in science education: The influence of prior knowledge and cognitive load theory on instructional design principles. *Science Education*, 90(6), 1073–1091. <https://doi.org/10.1002/sce.20164>
- Deci, E. L., & Ryan, R. M. (2000). The "What" and "Why" of Goal Pursuits: Human Needs and the Self-Determination of Behavior. *Psychological Inquiry*, 11(4), 227–268. https://doi.org/10.1207/S15327965PLI1104_01
- Dori, Y. J., & Belcher, J. (2005). How Does Technology-Enabled Active Learning Affect Undergraduate Students' Understanding of Electromagnetism Concepts? *Journal of the Learning Sciences*, 14(2), 243–279. https://doi.org/10.1207/s15327809jls1402_3
- Duncan, R. G., Boerwinkel, D. J. (2018). MOLECULAR BIOLOGY. I K. Kampourakis & M. J. Reiss (Red.), *Teaching Biology in Schools* (s. 36–48)
- Firdaus, Z., Zubaidah, S., & Munzil, M. (2024). Video Animation in Coordination System to Improve Students' Cognitive Ability. *Journal of Biological Education Indonesia (Jurnal Pendidikan Biologi Indonesia)*, 10(2), 673–687.
- Gilbert, J. K. (2005). Visualization: A Metacognitive Skill in Science and Science Education. I J. K. Gilbert (Red.), *Visualization in Science Education* (s. 9–27). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/1-4020-3613-2_2
- Hamzat, A., Bello, G., & Abimbola, I. O. (2017). Effects of Computer Animation Instructional Package on Students' Achievement in Practical Biology. *Cypriot Journal of Educational Sciences*, 12(4), 218–227.
- Hidi, S. (1990). Interest and Its Contribution as a Mental Resource for Learning. *Review of Educational Research*, 60(4), 549.

- Höffler, T. N., & Leutner, D. (2007). Instructional animation versus static pictures: A meta-analysis. *Learning and Instruction, 17*(6), 722–738.
<https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2007.09.013>
- Kozma, R., & Russell, J. (2005). Students becoming chemists: Developing representational competence. In J. K. Gilbert (Ed.), *Visualization in Science Education* (pp. 121–145). Springer.
- Kragten, M., Admiraal, W., & Rijlaarsdam, G. (2015). Students' Ability to Solve Process-Diagram Problems in Secondary Biology Education. *Journal of Biological Education, 49*(1), 91–103. <https://doi.org/10.1080/00219266.2014.888363>
- Mayer, R. E., & Moreno, R. (2002). Animation as an aid to multimedia learning. *Educational Psychology Review, 14*(1), 87–99.
- Machamer, P., Darden, L., & Craver, C. F. (2000). Thinking about mechanisms. *Philosophy of Science, 67*(1), 1–25.
- Mekonnen, Z. B., Yehualaw, D. D., Mengistie, S. M., & Mersha, B. S. (2024). The Effect of 7E Learning Cycle Enriched with Computer Animations on Students' Conceptual Understanding and Overcoming Misconceptions. *Journal of Pedagogical Research, 8*(2), 325–356.
- MIL, M. H. W., POSTMA, P. A., BOERWINKEL, D. J., KLAASSEN, K., & WAARLO, A. J. (2016). Molecular Mechanistic Reasoning: Toward Bridging the Gap Between the Molecular and Cellular Levels in Life Science Education. *Science Education, 100*(3), 517–585. <https://doi.org/10.1002/sce.21215>
- Mnguni, L., & Moyo, D. (2021). An Assessment of the Impact of an Animation on Biology Students' Visualization Skills Related to Basic Concepts of Mitosis. *EURASIA*

Journal of Mathematics, Science and Technology Education, 17(8).

<https://www.proquest.com/docview/2595735851/934F3298C29D484APQ/82>

Moreno, R., & Mayer, R. (2007). Interactive Multimodal Learning Environments: Special

Issue on Interactive Learning Environments: Contemporary Issues and Trends.

Educational Psychology Review, 19(3), 309–326. <https://doi.org/10.1007/s10648-007-9047-2>

O'Day, D. H. (2006). Animated Cell Biology: A Quick and Easy Method for Making

Effective, High-Quality Teaching Animations. *CBE - Life Sciences Education*, 5(3),

255–263. <https://doi.org/10.1187/cbe.05-11-0122>

Oliver, J. S., Hodges, G. W., Moore, J. N., Cohen, A., Jang, Y., Brown, S. A., Kwon, K. A.,

Jeong, S., Raven, S. P., Jurkiewicz, M., & Robertson, T. P. (2019). Supporting High

School Student Accomplishment of Biology Content Using Interactive Computer-

Based Curricular Case Studies. *Research in Science Education*, 49(6), 1783–1808.

<https://doi.org/10.1007/s11165-017-9675-6>

Rau, M. A. (2017). Conditions for the Effectiveness of Multiple Visual Representations in

Enhancing STEM Learning. *Educational Psychology Review*, 29(4), 717–761.

<https://doi.org/10.1007/s10648-016-9365-3>

Roland, P., & Gulyas, B. (1994). Visual imagery and visual representation. *Trends in*

Neurosciences, 17(7), 281–287. [https://doi.org/10.1016/0166-2236\(94\)90057-4](https://doi.org/10.1016/0166-2236(94)90057-4)

Rotbain, Y., Marbach-Ad, G., & Stavy, R. (2008). Using a Computer Animation to Teach

High School Molecular Biology. *Journal of Science Education & Technology*, 17(1),

49–58. <https://doi.org/10.1007/s10956-007-9080-4>

Rundgren, C.-J., Hirsch, R., Chang Rundgren, S.-N., & Tibell, L. (2012). Students'

Communicative Resources in Relation to Their Conceptual Understanding-The Role

of Non-Conventionalized Expressions in Making Sense of Visualizations of Protein

- Function. *Research in Science Education*, 42(5), 891–913.
<https://doi.org/10.1007/s11165-011-9229-2>
- Rundgren, C.-J., & Tibell, L. (2010). CRITICAL FEATURES OF VISUALIZATIONS OF TRANSPORT THROUGH THE CELL MEMBRANE—AN EMPIRICAL STUDY OF UPPER SECONDARY AND TERTIARY STUDENTS’ MEANING-MAKING OF A STILL IMAGE AND AN ANIMATION. *International Journal of Science & Mathematics Education*, 8(2), 223–246. <https://doi.org/10.1007/s10763-009-9171-1>
- Russ, R. S., Scherr, R. E., Hammer, D., & Mikeska, J. (2008). Recognizing mechanistic reasoning in student scientific inquiry. *Science Education*, 92(3), 499–525.
- SFS 2010:800. Skollag. https://www.riksdagen.se/sv/dokument-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/skollag-2010800_sfs-2010-800
- Singh, G., & Khunyakari, R. (2023). Analysing Scaffolds in Learning Systems Concepts in School Biology. *Contemporary Education Dialogue*, 20(1), 17–38.
<https://doi.org/10.1177/09731849221145748>
- Sirovina, D., & Kovacevic, G. (2019). Importance of an Appropriate Visual Presentation for Avoiding a Misconception of the Menstrual Cycle. *Journal of Biological Education*, 53(3), 302–309. <https://doi.org/10.1080/00219266.2018.1469539>
- Starbek, P., Erjavec, M. S., & Peklaj, C. (2010). Teaching genetics with multimedia results in better acquisition of knowledge and improvement in comprehension. *Journal of Computer Assisted Learning*, 26(3), 214–224. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2729.2009.00344.x>
- Sweller, J. (1988). Cognitive load during problem solving: Effects on learning. *Cognitive Science*, 12(2), 257–285.

- Teplá, M., Teplý, P., & Šmejkal, P. (2022). Influence of 3D Models and Animations on Students in Natural Subjects. *International Journal of STEM Education*, 9. <https://doi.org/10.1186/s40594-022-00382-8>
- Utomo, A. P., Hasanah, L., Hariyadi, S., Narulita, E., Suratno, & Umamah, N. (2020). The Effectiveness of STEAM-Based Biotechnology Module Equipped with Flash Animation for Biology Learning in High School. *International Journal of Instruction*, 13(2), 463–476. <https://doi.org/10.29333/iji.2020.13232a>
- Van Merriënboer, J. J. G., & Sweller, J. (2005). Cognitive Load Theory and Complex Learning: Recent Developments and Future Directions. *Educational Psychology Review*, 17(2), 147–177. <https://doi.org/10.1007/s10648-005-3951-0>
- Vosniadou, S. (2013). *Conceptual change in learning and instruction: The framework theory approach*. Routledge.
- Wilder, A., & Brinkerhoff, J. (2007). Supporting Representational Competence in High School Biology With Computer-Based Biomolecular Visualizations. *Journal of Computers in Mathematics & Science Teaching*, 26(1), 5–26.
- Wiley, J., Sarmiento, D., Griffin, T. D., & Hinze, S. R. (2017). Biology Textbook Graphics and Their Impact on Expectations of Understanding. *Discourse Processes: A Multidisciplinary Journal*, 54(5–6), 463–478. <https://doi.org/10.1080/0163853X.2017.1319655>
- Yarden, H., & Yarden, A. (2010). Learning Using Dynamic and Static Visualizations: Students' Comprehension, Prior Knowledge and Conceptual Status of a Biotechnological Method. *Research in Science Education*, 40(3), 375–402. <https://doi.org/10.1007/s11165-009-9126-0>

Bilagor

Bilaga 1. Dataextraktionstabell

Artikel	Land	Visuell media	Utfallsmått	Biologi-område	Kommentar
Wiley et al. (2017) Biology Textbook ...	USA	Bilder	Intresse	Allmän	Elevs bildförväntningar kan påverka deras intresse.
Teplá & Teplý, Šmejkal (2022) Influence of 3D...	TJECKIEN	3D modeller, animation jämfört med bilder	Motivation Kunskapsstet	Människans anatomi, zoologi, allmän biologi, botanik	Lärares attityder och erfarenhet kan påverka utfallet.
Teplá & Klimova (2015) Using Adobe Flash...	TJECKIEN	Animation	Lärarnas bedömning av elevers motivation	Biokemi	Interaktiva animationer, positiva effekter i motivation.
Sirovina & Kovacevic (2019) Importance of an...	KROATIEN	Bilder	Missuppfattningar och testresultat	Menscykeln	Viktigt att använda lämpliga visuella material för att minska missuppfattningar och stärka elevers visuella läskunnighet.
Singh & Khunyakari (2023) Analysing Scaffolds ...	INDIEN	Bilder	Förståelse	Matsmältnings systemet	Bilder illustrerade främst strukturer snarare än processer och var ofta dekorativa i läroböcker.
O'Day (2006)	KANADA	Animation	Testresultat	Cellbiologi	PowerPoint-animationer i

Animated Cell Biology...					cellbiologi högre testresultat än statiska bilder.
Mnguni & Moyo (2021) An Assessment of...	SYDAFRICA	Animation	Visualiseringsförmåga, och testresultat	Cellbiologi - mitos	Elever som fick se en animation om mitos förbättrade sina visualiseringsfärdigheter markant.
Mekonnen et al (2024) The Effect of...	ETIOPIEN	Animation	Begreppsförståelse och missuppfattningar	Fotosyntes	Elever som undervisades med 7E-modellen förstärkt med datoranimationer presterade signifikant bättre i begreppstester.
Kragten et al. (2015) Students' Ability...	NEDERLÄNDERNA	Bilder	Resultat, förkunskaper, spatiala förmåga, arbetsminne	Allmän biologi	Tolkning av processdiagram kräver att elever integrerar visuell och verbal.
Hamzat et al. (2017) Effects of Computer ...	NIGERIA	Animation	Testresultat	Fotosyntes	Animationerna ökade elevernas förståelse för biologiska processer.
Firdaus, Zubaidah & Munzil (2024) Video Animation ...	INDONESIEN	Animation	Kognitiva förmågor	Kroppens koordinations system	Animationer effektivt visualiserar abstrakta biologiska processer.
Rundgren & Tibell	SVERIGE	Animation	Konceptuell förståelse,	Cellbiologi	Animationen ökade

(2010) Critical Features of...			missuppfattningar, meningsskapande		förståelsen av molekylers dynamik och 3D-beteende.
Yarden & Yarden (2010) Learning Using Dynamic...	ISRAEL	Animation	Konceptuell förståelse, kognitiv belastning, förkunskap	Bioteknik (PCR)	Animationer förbättrade förståelsen av mekanistiska och kausala samband, särskilt hos elever med låg förkunskap.
Mil, Boerwinkel & Knippels (2016) Molecular Mechanistic...	NEDERLÄNDERNA	Animation	Konceptuell förståelse, meningsskapande, mekanistiskt tänkande	Cellbiologi	Elever hade svårt att se molekylära orsakssamband och fastnade i makroskopiska förklaringar.
Rundgren, Hirsch, Chang Rundgren & Tibell (2012) Students' Communicative...	SVERIGE	Animation	Konceptuell förståelse, språkbruk, meningsskapande	Cellbiologi / molekylärbiologi	Visualiseringar stödde kommunikativt meningsskapande.
Cheung & Winterbottom (2023) Students' integration ...	STORBRITANNIEN	Bilder	Konceptuell förståelse, visualisering förmåga, meningsskapande	Cellbiologi	Studien lyfter behovet av att träna förmågan att integrera flera representationer.
Oliver et al. (2019) Supporting High School...	USA	Interaktiva 3D-modeller	Konceptuell förståelse, kunskapsutveckling, motivation	Cellbiologi	Interaktiva 3D-case förbättrade förståelse och prestation, särskilt hos lågpresterande elever.

Wilder & Brinkerhoff (2007) Supporting ...	USA	Interaktiva 3D-visualiseringar	Förmåga att använda olika representationer, konceptuell förståelse, attityder	Molekylärbiologi	Elever förbättrade sin förståelse av proteinstrukturer genom att manipulera 3D-modeller.
Starbek, Starčič Erjavec & Peklaj (2010) Teaching Genetics...	SLOVENIEN	Animation	Kunskapsinhämtning, förståelse, retention	Genetik	Animationer och illustrationer gav bättre förståelse och retention än text eller föreläsning.
Rotbain, Marbach-Ad & Stavy (2008) Using a Computer ...	ISRAEL	Interaktiv datoranimerade 3D-modeller	Konceptuell förståelse, motivation, elevupplevelse	Molekylärbiologi	Animationen ökade förståelsen signifikant jämfört med traditionell undervisning.
Cook (2008)	USA	Bilder	Identifiera strukturer	Genetik, cellbiologi	Tydliga bilder kräver aktiv tolkning och stöd för att elever ska utveckla en djupare begrepps-förståelse.
Utomo m.fl. (2020)	Indonesien	Animation	Förståelse och intresse	Bioteknik	Audiovisuella medier kan öka både motivation och förståelse för komplexa biologiska koncept.